

انواع اتصالات بر حسب فن اتصال

۱- پرچ

۲- پیچ

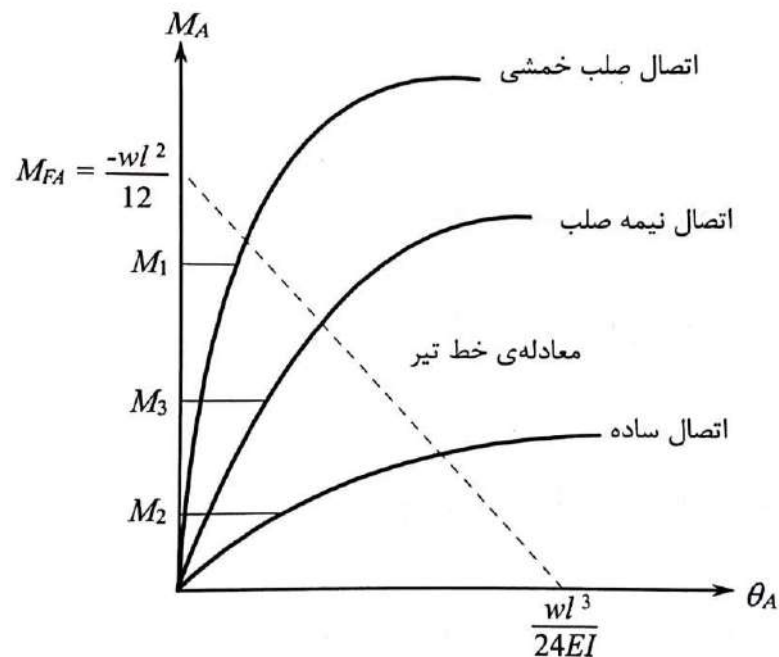
۳- جوش

انواع اتصال بر حسب میزان صلبیت آنان

۱- اتصال صلب: لنگر را منتقل می کند

۲- اتصال ساده: فقط برش را منتقل می کند

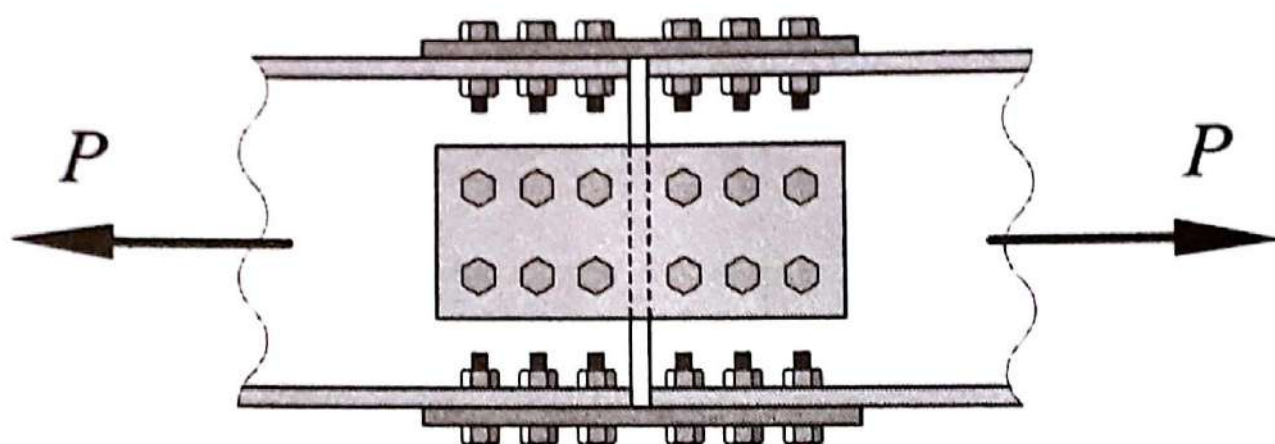
۳- اتصال نیمه صلب: در تحلیل سازه چگونه مدل می شود؟



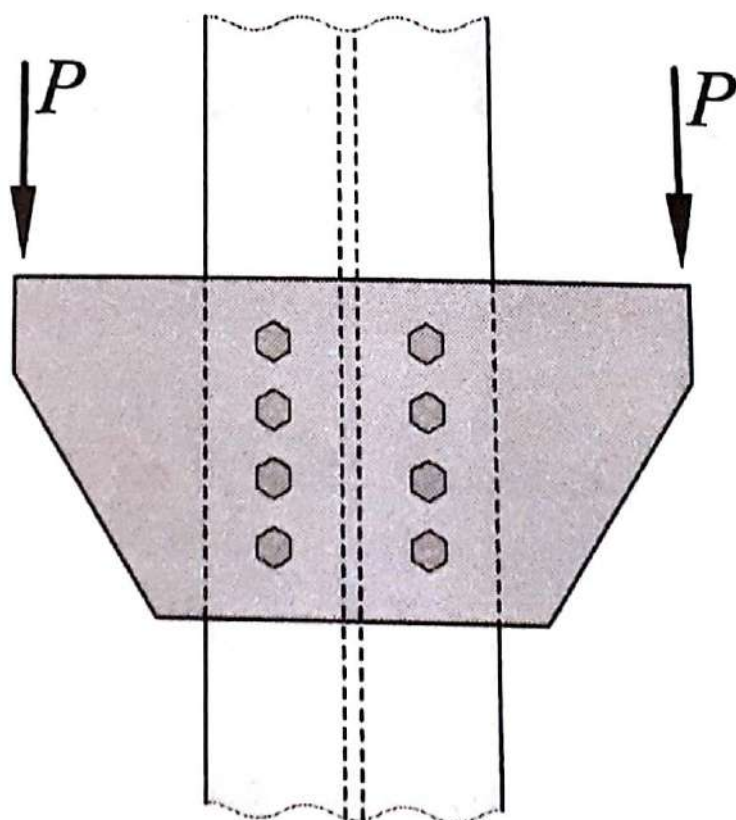
منحنی‌های لنگر خمشی بر حسب دوران



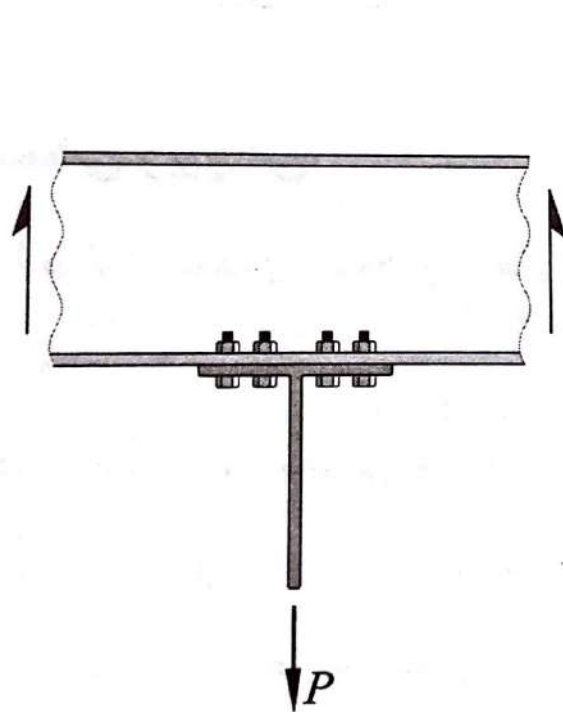
الف - پیچ تحت برش دوطرفه



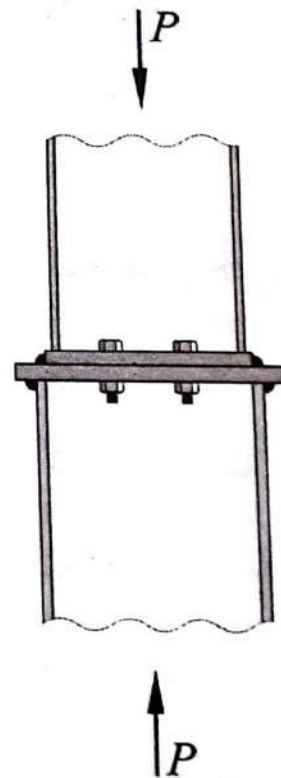
ب - پیچ اتصال بال و جان تحت برش



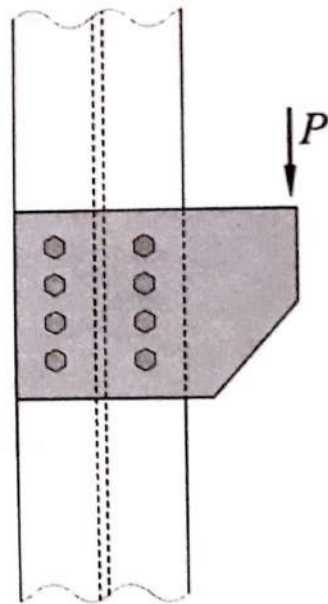
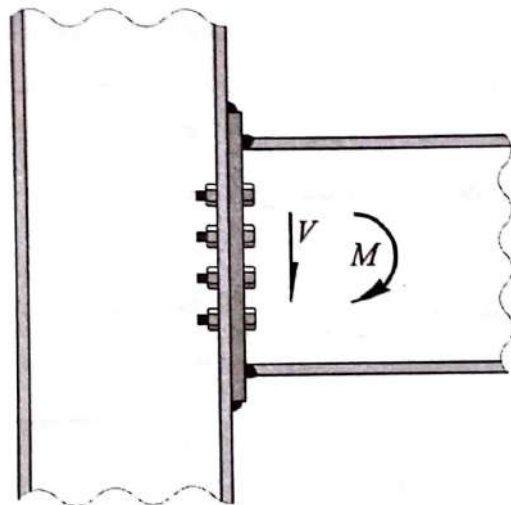
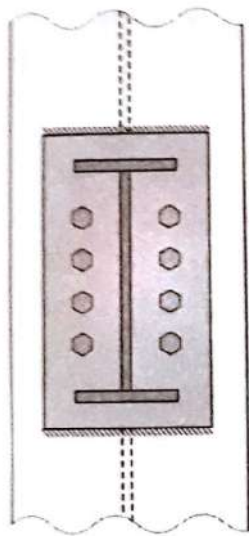
پ - ورق اتصال بال تحت برش



ب - اتصال کششی به صورت عضو آویزان

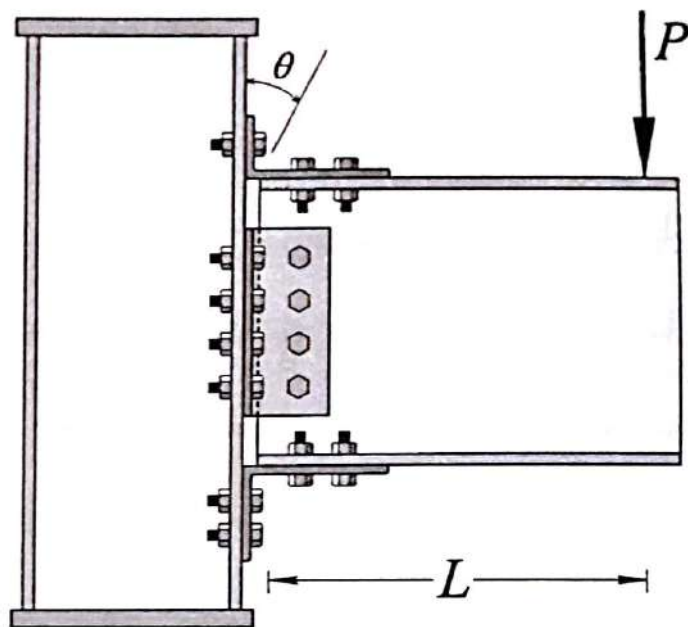
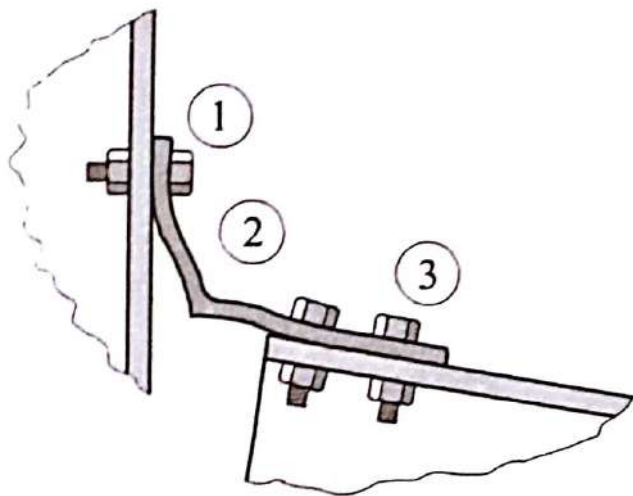


الف - وصله‌ی ستون (اتصال تحت فشار)



الف - اتصال براکسی تحت نیروی برشی و لنگر پیچشی

ب - اتصال تیر به ستون تحت نیروی برشی و لنگر خمشی

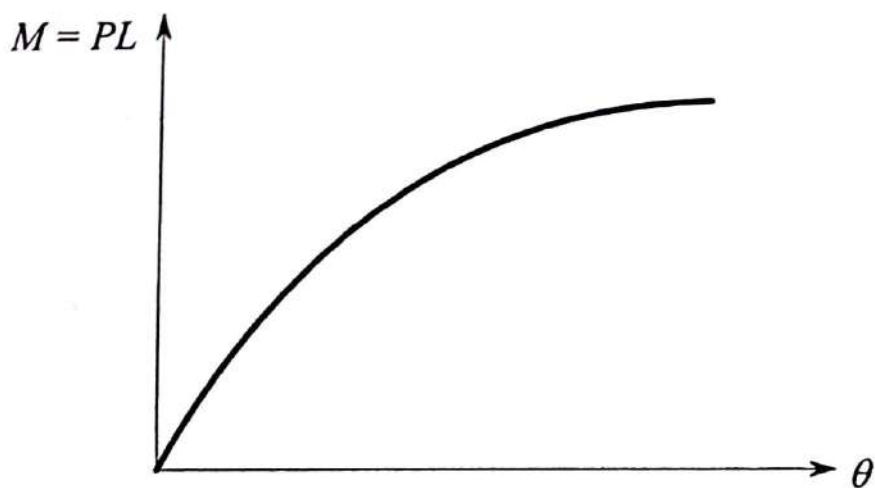


۱- تسلیم کششی پیچ ۲- تسلیم نبشی ناشی از خمش

۳- لغزش پیچ‌ها و تسلیم در تنش‌های لهیدگی

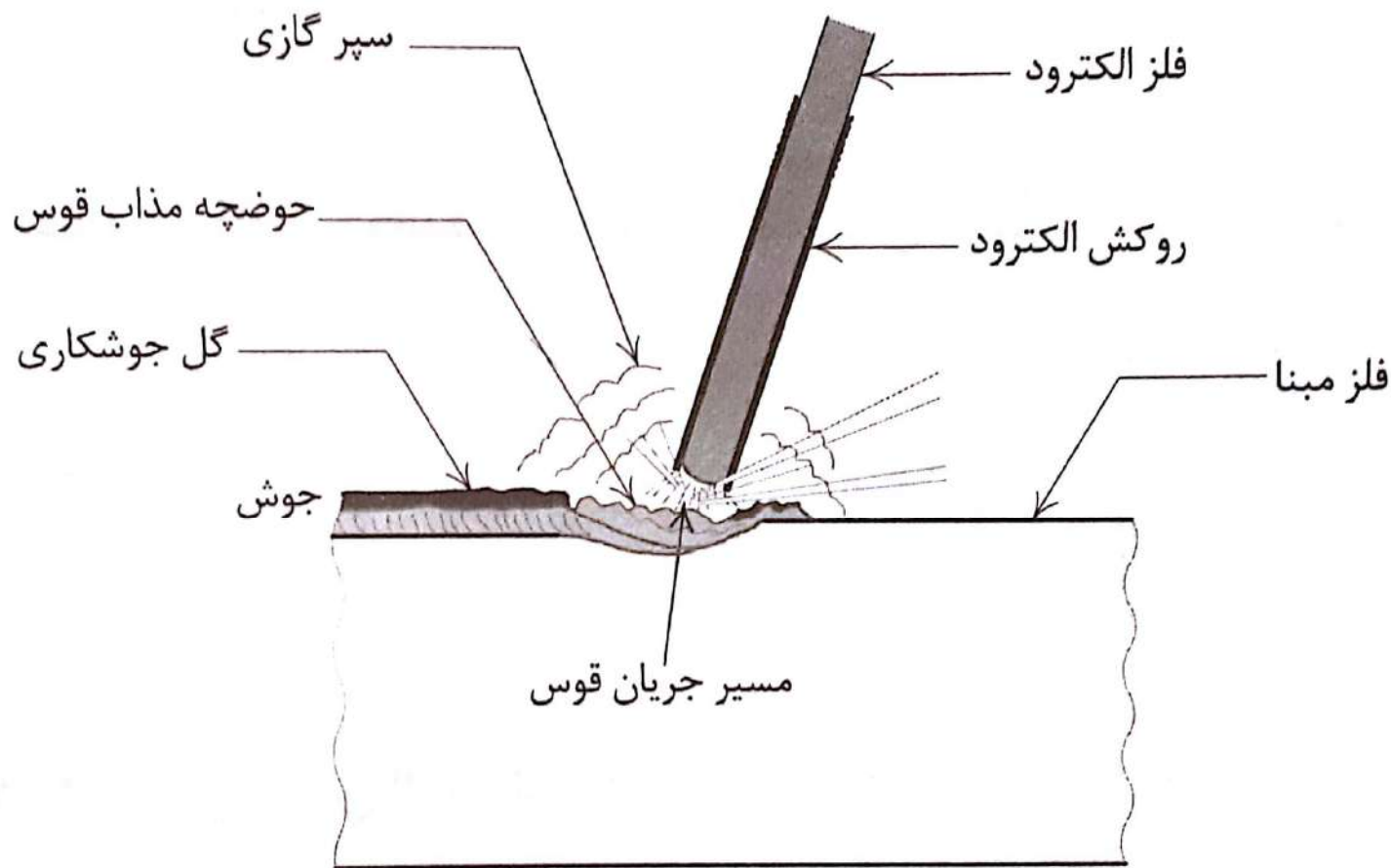
ب - شکل تغییر شکل یافته نبشی

الف - نمونه اتصال فولادی برای آزمایش

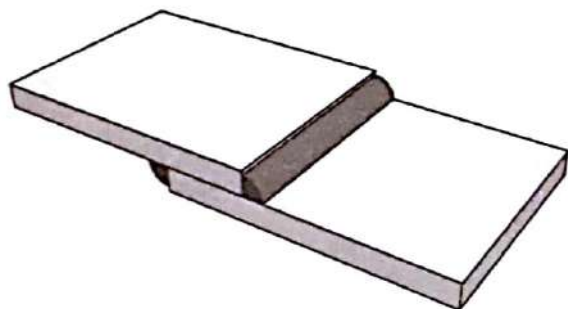


پ - منحنی لنگر خمشی دوران

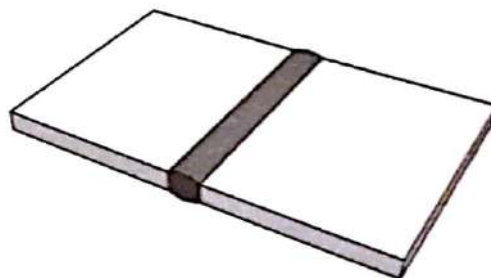
اتصالات جوشی



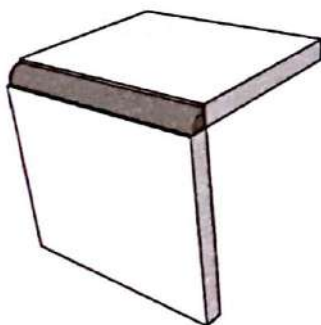
شکل ۲ - ۲ - جوشکاری با الکتروود روکش دار



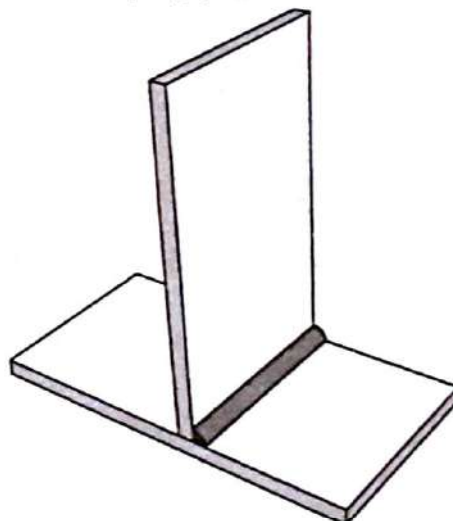
ب - اتصال روی هم



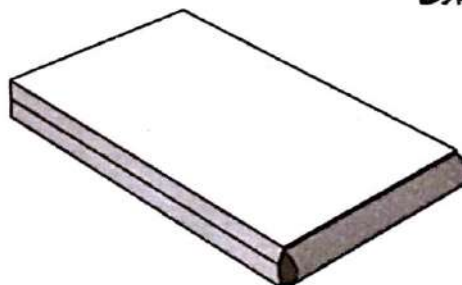
الف - اتصال لب به لب



ت - اتصال گونیای گوشه

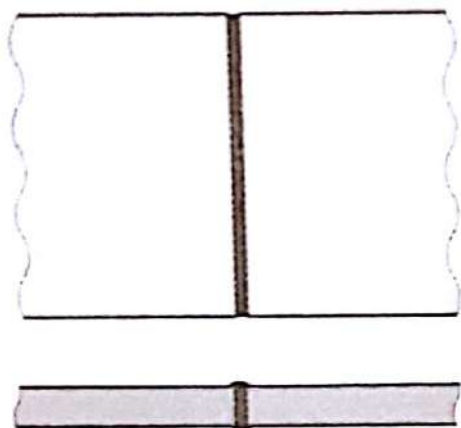


پ - اتصال سپری

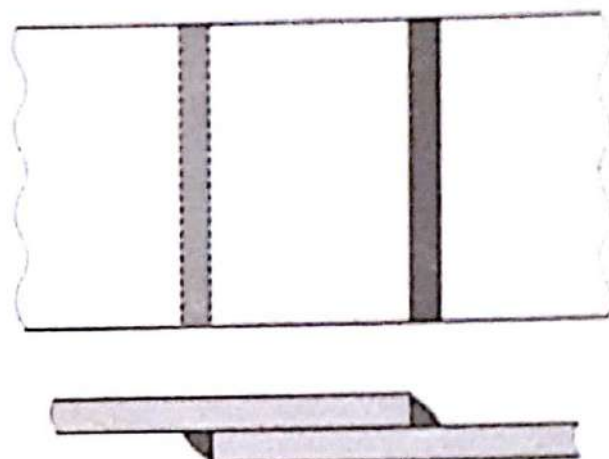


ث - اتصال پیشانی

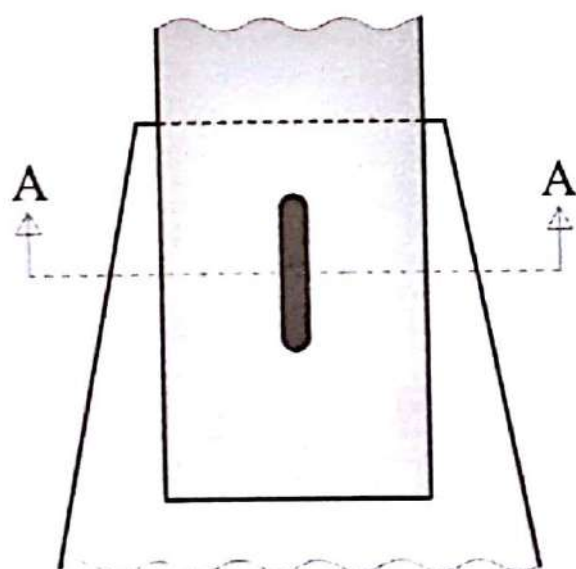
شکل ۲-۱۸- انواع اتصالات جوشی از نظر وضعیت قرارگیری اعضای اتصال



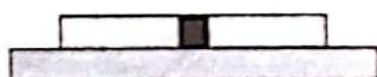
ب - جوش تیاری



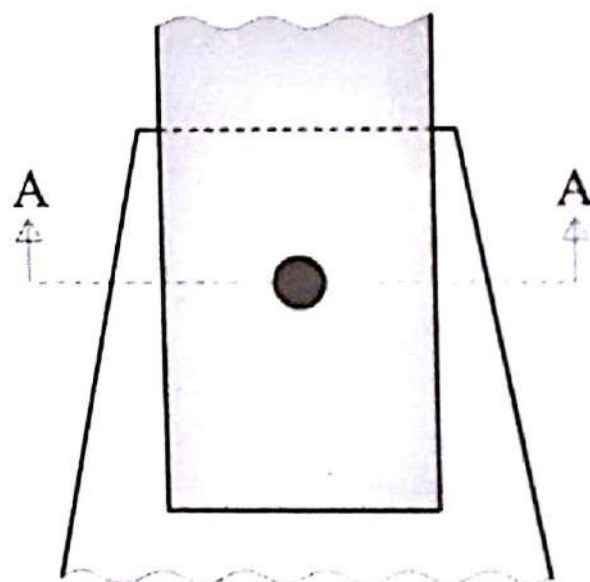
الف - جوش گوشه



section A-A



ت - جوش کام



section A-A



پ - جوش انگستانه

شکل ۲ - ۲۲ - انواع جوش

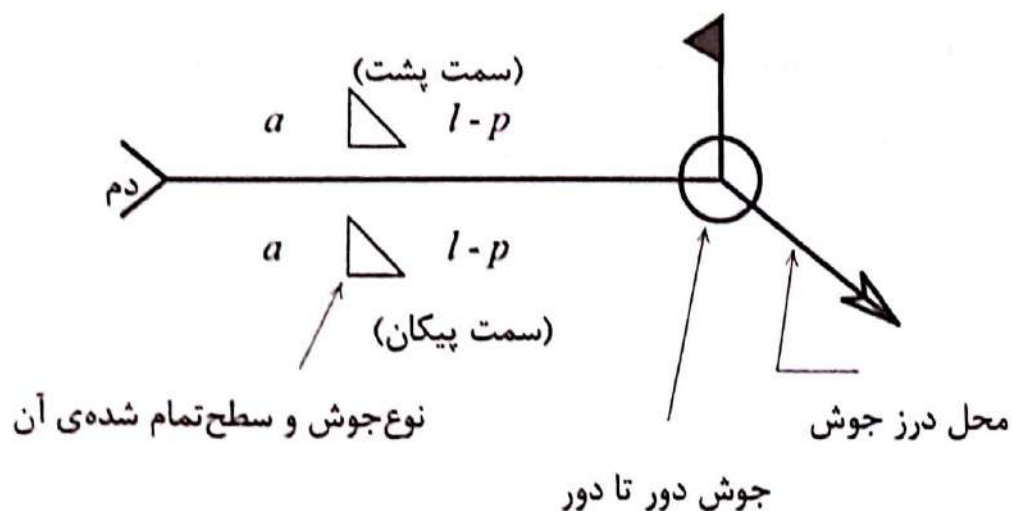
علائم جوش

جوش پشت پشت بند	گوشه	کام یا انگشتانه	شیاری						
			ساده	جناغی	نیم جناغی	لاله‌ای	نیم لاله‌ای	جناغی لب گرد	نیم جناغی گرد

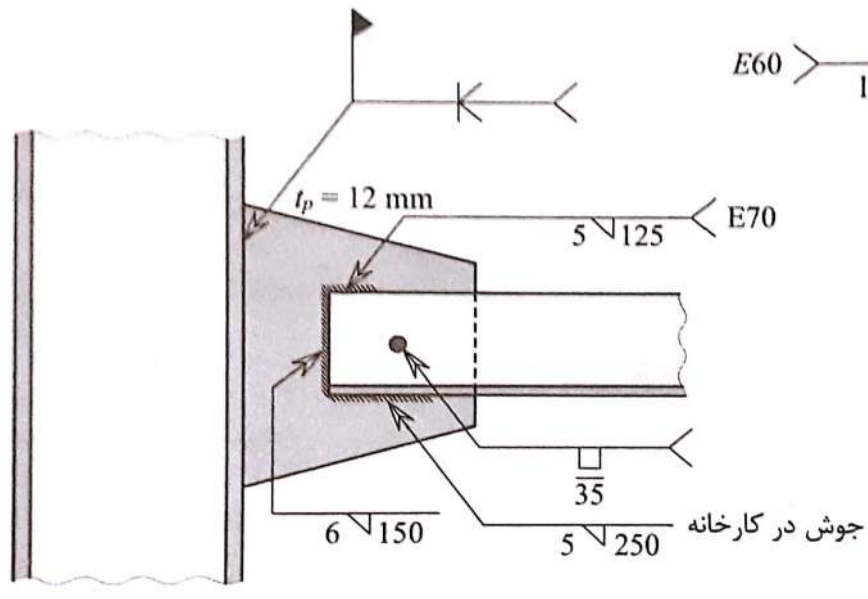
جوش یکسره که طول آن مشخص نشده



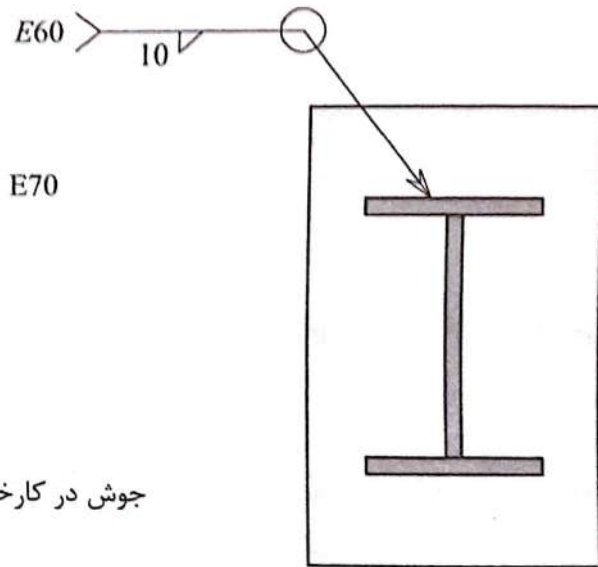
	جوش در موقع نصب		محدب		وضعیت سطح جوش
			مستوی		مقعر
	جوش دور تا دور				



اندازه‌ی ساق یا بعد گلوی جوش = a
 طول نوار جوش = l
 فاصله‌ی مرکز به مرکز نوارهای = P
 جوش منقطع



ب - اتصال نبشی به ستون



الف - اتصال تیر به ورق انتهایی

(طراحی و کنترل جوش در اتصالات)

بندهای آیین‌نامه در ارتباط با سطح مقطع جوش و محدودیت

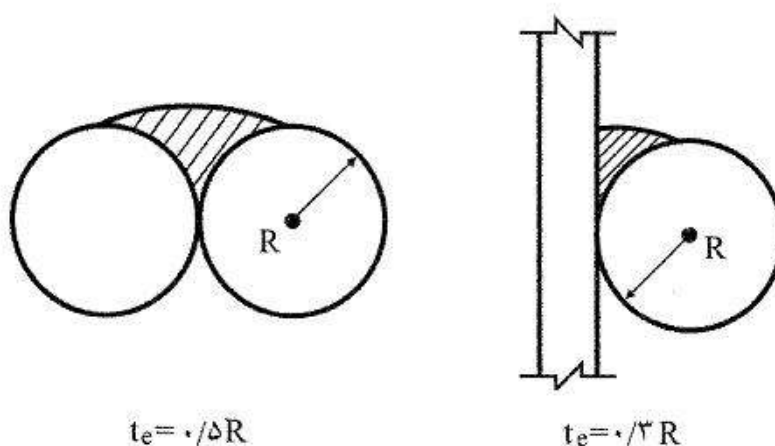
ابعاد آن

۱۰-۲-۹-۲ جوش‌ها

۱۰-۲-۹-۲-۱ جوش‌های شیاری

الف) سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوش‌های شیاری عبارت است از: حاصل ضرب طول موثر در ضخامت موثر جوش. طول موثر جوش برابر با طول جوش شده و ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ کامل برابر با ضخامت قطعه نازکتر در اتصال لب به لب و ضخامت قطعه جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. ضخامت موثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد مجاز نیست.

ضخامت موثر جوش شیاری که بین دو لبه گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبه گرد و لبه تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲ می‌باشد.



شکل ۱۰-۲-۹-۲ ضخامت موثر جوش‌های شیاری لب گرد

ب) محدودیت: ضخامت موثر در جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقادیر مندرج در جدول ۱-۹-۲-۱۰ کمتر شود. حداقل ضخامت موثر با توجه به ضخامت قطعه نازکتر تعیین می‌شود. ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

جدول ۱-۹-۲-۱۰ حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

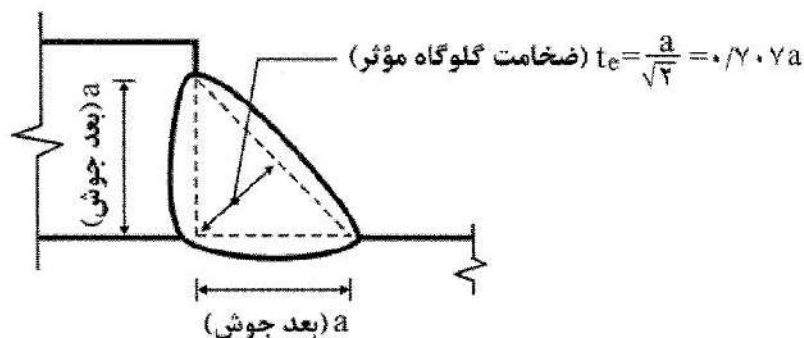
ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت موثر
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر
بیش از ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر	۱۰ میلی‌متر
بیش از ۶۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر	۱۳ میلی‌متر
بیش از ۱۵۰ میلی‌متر	۱۶ میلی‌متر

۱-۲-۹-۲-۱۰ جوش‌های گوشه

الف) سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوش‌های گوشه برابر با حاصل ضرب طول موثر در ضخامت گلوگاه موثر در نظر گرفته می‌شود.

طول موثر جوش گوشه (به جز جوش‌هایی که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت‌های برگشت خورده می‌باشد.

بعد جوش گوشه (a) اندازه ساق مقطع جوش می‌باشد. طبق شکل ۱-۲-۹-۳ ضخامت گلوگاه موثر (t_e) در جوش گوشه برابر کوتاهترین فاصله بین ریشه مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می‌آید.



شکل ۱-۲-۹-۳ ضخامت گلوگاه موثر جوش‌های گوشه

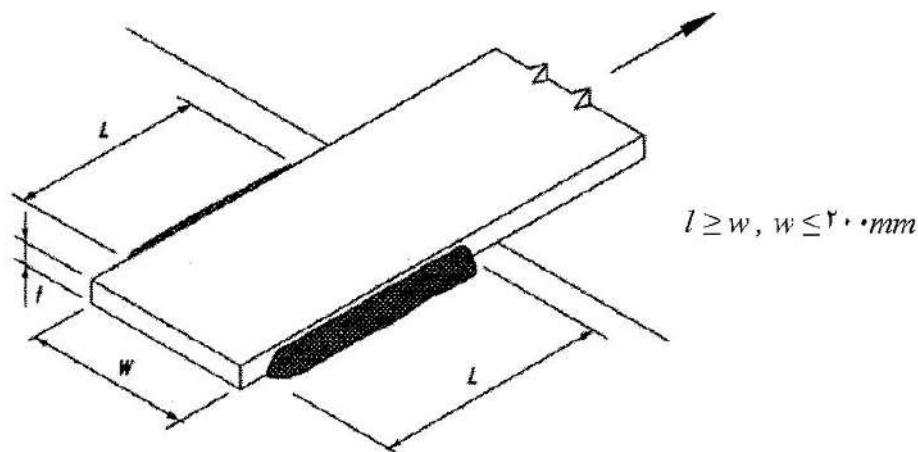
(ب) محدودیت‌ها:

- ۱- حداقل بُعد جوش‌های گوشه نباید از بُعد مورد نیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و اندازه‌های نشان داده شده در جدول ۱۰-۲-۹-۲ کوچکتر انتخاب شود. حداقل بُعد جوش تابع ضخامت قطعه نازکتر می‌باشد و از طرفی نباید بُعد جوش از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز نماید.
- ۲- حداکثر بُعد جوش‌های گوشه در لبه قطعات متصل شونده برای قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه منهای ۲ میلی‌متر و برای قطعات با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه می‌باشد.

جدول ۱۰-۲-۹-۲ حداقل بُعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بُعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰	۸ میلی‌متر

- ۳- طول موثر جوش‌های گوشه‌ای که برای تحمل تنش‌ها محاسبه شده‌اند نباید از ۴ برابر بُعد جوش کمتر باشد. به عبارت دیگر، بُعد جوش نباید از $\frac{1}{4}$ طول آن تجاوز نماید.
- ۴- در اتصال‌های انتهایی تسمه‌های کششی اگر از جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی امتداد نیرو استفاده شود، طول جوش هر طرف نباید از فاصله عمودی بین آنها (تقریباً پهنای تسمه) کمتر باشد و این فاصله نباید از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند (شکل ۱۰-۲-۹-۴). برای تأثیر طول جوش در سطح مقطع موثر اعضای کششی به جدول ۱۰-۲-۳-۱ مراجعه شود.



شکل ۱۰-۲-۹-۴ جوش گوشه در انتهایی تسمه‌های کششی

۵- در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول موثر جوشی که به صورت طولی بارگذاری شده است نباید از ۱۰۰ برابر بعد جوش (a) تجاوز نماید. در صورت نیاز به طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بعد ساق جوش، طول موثر جوش باید با ضریب (β) کاهش داده شود.

$$L_e = \beta L$$

$$\beta = 1/2 - 0.002 (L/a) \leq 1/0$$

$$(1-9-2-10)$$

که در آن:

$$L_e = \text{طول موثر جوش}$$

$$L = \text{طول واقعی جوشی که از قسمت انتهایی جوش به صورت طولی بارگذاری شده است.}$$

$$a = \text{بعد ساق جوش}$$

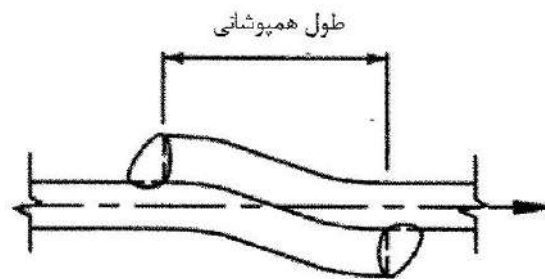
$$\beta = \text{ضریب کاهش طول واقعی (اسمی) جوش}$$

برای L/a بزرگتر از ۳۰۰ طول موثر جوش باید برابر $180a$ در نظر گرفته شود.

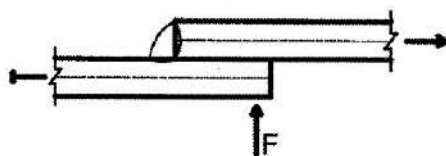
۶- جوش‌های گوشه منقطع برای انتقال تنش‌های محاسبه شده هنگامی مجاز است که نیروی منتقله از مقاومتی که با جوش پیوسته (سرتاسری) و با حداقل بعد جوش تأمین می‌شود، کمتر باشد. استفاده از این نوع جوش در اتصال جان و بال تیر ورق‌ها، اتصال ورق‌های تقویتی بال، اتصال قطعات سخت‌کننده به جان تیر ورق و برای اتصال اجزای اعضای ساخته‌شده از ورق مجاز می‌باشد. طول موثر قطعات جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد. فاصله آزاد بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازک‌ترین قطعه متصل شونده وقتی که در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است، بیشتر شود. در این خصوص به الزامات بندهای ۱۰-۲-۲-۵ و ۱۰-۲-۴-۷-۲ نیز مراجعه شود.

۷- در اتصالات پوششی (رویهم) دو قطعه، طول همپوشانی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازک‌تر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلی‌متر کمتر نشود. در اتصالات پوششی که ورق و تسمه‌های تحت اثر تنش‌های محوری را به یکدیگر متصل می‌کند، باید ضلع انتهایی هریک از قسمت‌های متصل شونده، توسط جوش گوشه اتصال یابند (جوش دو طرفه). در وضعیتی که اتصال به اندازه کافی مقید شده باشد یا تغییرشکل خمشی آنقدر محدود باشد که از باز شدن اتصال تحت اثر بار حداکثر جلوگیری شود، می‌توان از جوش یکطرفه استفاده کرد (شکل ۱۰-۲-۹-۵).

۸- استفاده از جوش گوشه در لبه سوراخ و شکاف در اتصالات رویهم، به منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش و یا جدایی قسمت‌های متصل شونده مجاز می‌باشد. جوش‌های گوشه در سوراخ‌ها و شکاف‌ها را نباید به عنوان جوش کام یا انگشتانه در نظر گرفت.



(الف) طول همپوشانی در اتصالات پوششی (جوش دو طرفه)



(پ) جوش یکطرفه مقید و مجاز



(ب) جوش یکطرفه غیر مقید و غیر مجاز

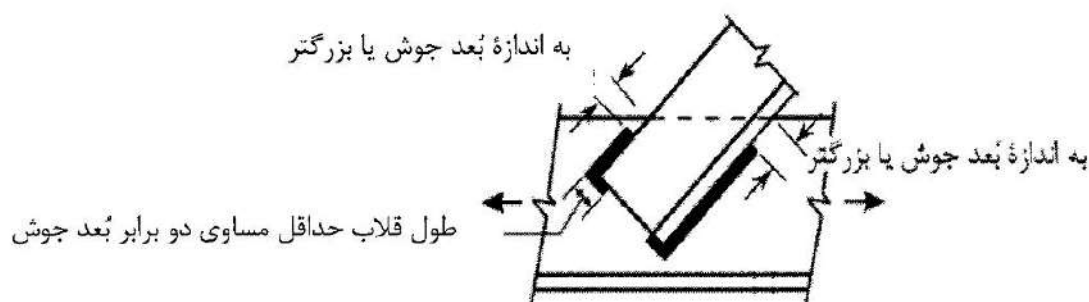
شکل ۵-۹-۲-۱۰ اتصال پوششی (رویهم) دو قطعه

۹- جوش‌های گوشه می‌توانند به انتهای ناحیه اتصال منتهی شده یا قبل از رسیدن به انتهای ناحیه اتصال قطع شوند و یا حتی می‌توان آنها را طوری جوش داد تا به شکل قوطی یا ناودانی در بیاید. مگر در مواردی به شرح زیر که محدودیتی برای آنها وضع شده است.

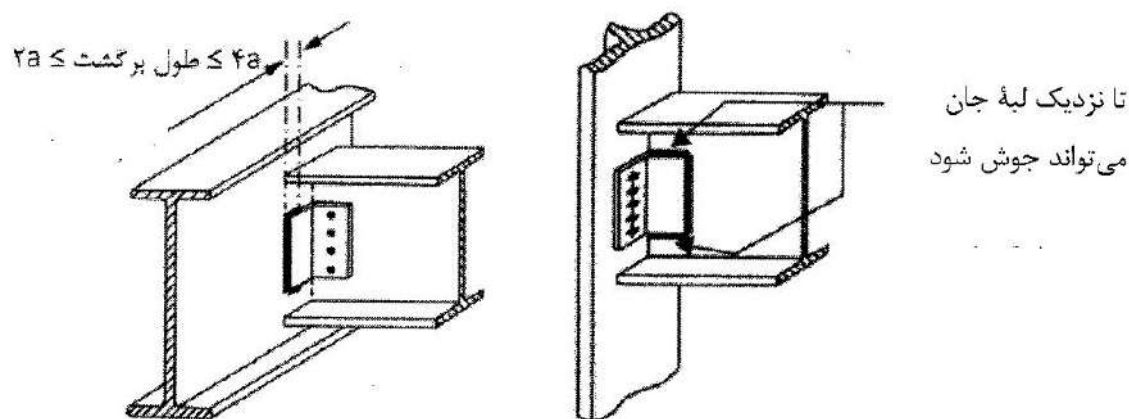
- در اتصالات پوششی (رویهم) که یکی از قطعه‌های اتصالی تا پشت لبه قطعه اتصالی دیگر که تحت اثر تنش کششی قرار دارد امتداد یافته باشد، جوش گوشه باید در فاصله‌ای بیشتر یا مساوی با بُعد جوش تمام شود (شکل ۶-۹-۲-۱۰).

- کلیه جوش‌های گوشه که در لبه کناری یا ضلع انتهایی عضو انجام می‌شود، باید در انتهای ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به آن قلاب می‌گویند. حداقل طول قلاب ۲ برابر بُعد جوش می‌باشد. این شرط شامل جوش‌های گوشه قائم و جوش‌های گوشه سر بالا در تکیه‌گاه‌های لچکی (براکت) و برای نبشی‌های نشیمن تیر و اتصالات نظیر می‌باشد (شکل ۶-۹-۲-۱۰).

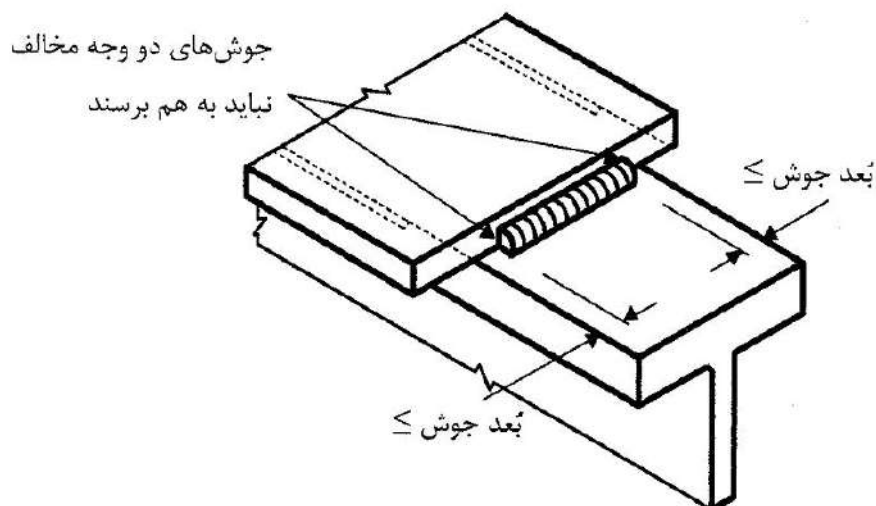
- در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان، که انعطاف‌پذیری اتصال به مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال برجسته نبشی‌ها می‌باشد، برگشت در انتهای جوش گوشه نباید از ۴ برابر بُعد جوش و نیز نصف پهنای بال نبشی بیشتر باشد. برگشت انتها در جوش گوشه باید در نقشه‌ها و جزئیات اجرایی قید شود (شکل ۷-۹-۲-۱۰).
- جوش‌های گوشه‌ای که ورق‌های سخت‌کننده عرضی را به جان تیر ورق‌های با ضخامت جان کمتر از ۲۰ میلی‌متر متصل می‌کنند، نباید کمتر از ۴ برابر و بیشتر از ۶ برابر ضخامت جان، از پنجه جان تا جوش جان به بال منتهی شود. مگر در حالتی که انتهای ورق سخت‌کننده عرضی به بال جوش شده باشد.
- جوش‌های گوشه‌ای که در دو وجه مخالف یک صفحه مشترک ایجاد می‌شود، باید در گوشه مشترک بین دو نوار جوش قطع شوند (شکل ۸-۹-۲-۱۰).
- در اتصالات پوششی (رویهم) برای جلوگیری از زخم در لبه، انتخاب محل شروع و پایان مسیر جوشکاری باید مورد توجه قرار گیرد (شکل ۹-۹-۲-۱۰).



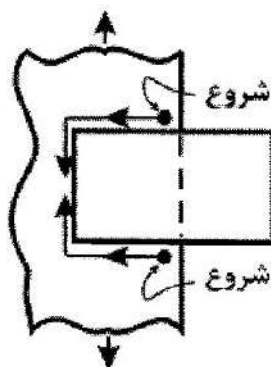
شکل ۶-۹-۲-۱۰ جوش گوشه در انتهای اعضای محوری



شکل ۷-۹-۲-۱۰ جوش گوشه در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان



شکل ۱۰-۲-۹-۸ جوش‌های گوشه در دو طرف مخالف یک صفحه مشترک



شکل ۱۰-۲-۹-۹ مسیر مناسب برای جلوگیری از زخم در لبه

بندهای آیین‌نامه در ارتباط با مقاومت جوش

۱۰-۲-۹-۴ مقاومت جوش

مقاومت طراحی جوش‌ها مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن، ϕ ضریب کاهش مقاومت طبق جدول ۱۰-۲-۹-۳ و R_n مقاومت اسمی جوش می‌باشد که باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش در نظر گرفته شود.

(الف) بر اساس مصالح فلز پایه

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (۱۰-۲-۹-۲)$$

(ب) بر اساس مصالح فلز جوش

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} \quad (۱۰-۲-۹-۳)$$

که در آن:

F_{nBm} = تنش اسمی فلز پایه

F_{nw} = تنش اسمی فلز جوش

A_{BM} = سطح مقطع فلز پایه

A_{we} = سطح مقطع مؤثر جوش

β = ضریب بازرسی جوش به شرح زیر:

۱. در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فراصوتی): $\beta=1$
۲. در صورت انجام جوش در کارخانه (یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $\beta=0.85$
۳. در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $\beta=0.75$

جدول ۱۰-۲-۹-۳ مقاومت جوش‌ها

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش شیار با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی عمود بر مقطع مؤثر	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰	مطابق فصل ۳-۲-۱۰
	فشاری عمود بر مقطع مؤثر، کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰
	برشی، در مقطع مؤثر	فلز پایه	مطابق فصل ۶-۲-۱۰	مطابق فصل ۶-۲-۱۰
جوش شیار با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر فشاری، موازی با محور جوش کششی، موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰
	کششی در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	۰/۷۵	$F_{nBm}=F_u$
		بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۸	$F_{nw}=0.6F_u$
	برشی، در مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰)	
جوش گوشه	برشی، در مقطع مؤثر	بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=0.6F_u$
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰
	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل ۶-۲-۱۰	مطابق فصل ۶-۲-۱۰
جوش انگشتانه و کام		بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=0.6F_{uc}$

F_{uc} = تنش نهایی فلز جوش (الکتروود مصرفی)

F_y = تنش تسلیم فلز پایه

۱۰-۲-۹-۶ الکترودهای سازگار با مصالح فلز پایه

فلز جوش (الکتروده مصرفی) باید سازگار با مصالح فلز پایه و مطابق با مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۴ باشد.

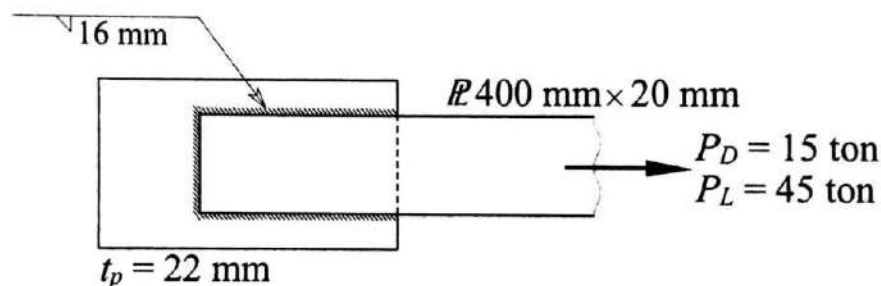
جدول ۱۰-۲-۹-۴ الکترودهای سازگار با فلز پایه

نوع الکتروده سازگار	مقاومت نهایی کششی فلز الکتروده (F_{ue})	تنش تسلیم مصالح فلز پایه (F_y)
E۶۰ یا معادل آن	۴۲۰ MPa	تا ۳۰۰ MPa, $t \leq 15mm$
E۷۰ یا معادل آن	۴۹۰ MPa	
E۷۰ یا معادل آن	۴۹۰ MPa	تا ۳۰۰ MPa, $t > 15mm$
E۷۰ یا معادل آن	۴۹۰ MPa	از ۳۰۰ MPa تا ۳۸۰ MPa
E۸۰ یا معادل آن	۵۶۰ MPa	از ۳۸۰ MPa تا ۴۶۰ MPa

t = ضخامت فلز پایه

۴-۳-مثال

مطابق شکل ۲-۳۶، یک ورق با ابعاد $400mm \times 20mm$ توسط جوش گوشه با اندازه‌ی ساق ۱۶ میلی‌متر به ورقی با ضخامت ۲۲ میلی‌متر متصل شده است. در صورتی که الکتروده مصرفی E70 و بازرسی چشمی توسط افراد مجرب انجام گیرد، طول جوش را برحسب سانتی‌متر تعیین کنید.



شکل ۲-۳۶

حل:

$$P_u = 1/2 P_D + 1/6 P_L = 1/2 \times 15 + 1/6 \times 45 = 9.0 \text{ t}$$

R_n مقاومت اسمی جوش با توجه به رابطه‌ی (۲-۳) و با فرض L_w برای طول جوش برابر

$$R_n = \phi F_{nw} A_{we} = 0.75 \times 0.6 \times 490 \times 0.707 \times 1/6 L_w = 2494/3 L_w \quad \text{است با،}$$

L_w طول جوش چنین محاسبه می‌شود.

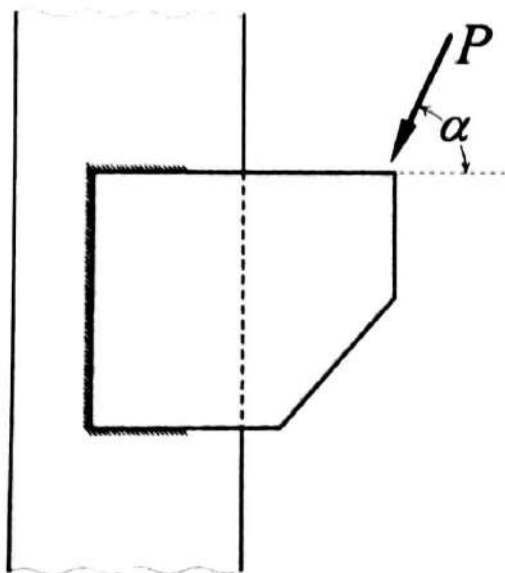
$$\phi = 0.75$$

$$P_u \leq \phi R_n \Rightarrow 9.0 \leq 0.75 \times 2494/3 L_w \Rightarrow L_w \geq 48/1 \text{ cm}$$

$$\frac{L_w}{a_w} = \frac{48/1}{1/6} \approx 30 < 100 \Rightarrow \beta_1 = 1$$

۳ - جوش گوشه تحت برش و پیچش

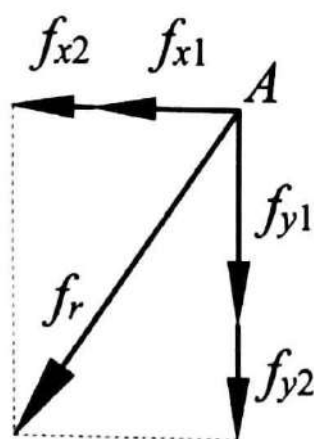
در اتصالات جوشی مواردی رخ می‌دهد که جوش‌های گوشه علاوه بر برش تحت تأثیر لنگر پیچشی ناشی از خروج از مرکزیت نیز قرار می‌گیرند. شکل ۲-۴۳ نمونه‌ای از یک اتصال که تحت اثر نیروی مایل P قرار دارد را نشان می‌دهد.



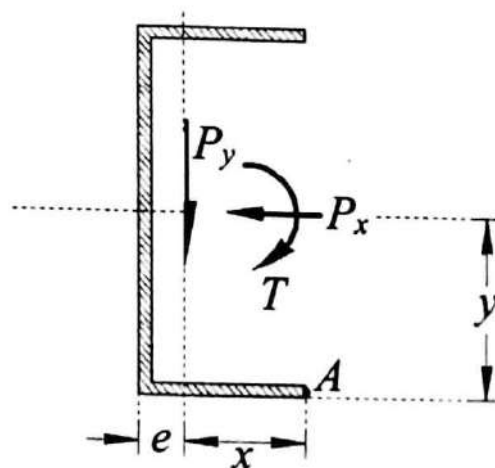
شکل ۲-۴۳ - جوش تحت اثر برش و پیچش

جوش‌های گوشه‌ی نشان داده شده در شکل ۴۳-۲ تحت اثر نیروی برشی افقی $P_x = P \cos \alpha$ و نیروی برشی قائم $P_y = P \sin \alpha$ و لنگر پیچشی T قرار دارند. هر چند محاسبه‌ی دقیق تنش‌ها در جوش شکل ۴۳-۲ به آسانی میسر نیست، لیکن روش ساده و قابل قبولی که صحت آن مورد تأیید پژوهشگران و آئین‌نامه‌های طراحی است برای محاسبه‌ی تنش در جوش گوشه ناشی از این نوع بارگذاری ارائه می‌شود. مراحل محاسبه‌ی تنش در چنین جوشی بدین شرح است،

- ۱- مرکز سطح جوش تعیین می‌شود.
- ۲- مؤلفه‌های نیروی P همراه با لنگر پیچشی ناشی از خروج از مرکزیت نسبت به محل مرکز سطح جوش محاسبه می‌شود.
- ۳- خصوصیات هندسی مقطع نظیر مساحت (A_w) ممان اینرسی نسبت به محورهای افقی و عمودی (I_x, I_y) و ممان اینرسی قطبی ($J_w = I_x + I_y$) با فرض ضخامت واحد برای گلوی جوش گوشه محاسبه می‌گردد.
- ۴- تنش‌های برشی موجود ناشی از نیروهای برشی از تقسیم نیرو بر سطح جوش و ناشی از لنگر پیچشی از رابطه‌ی معمول $\frac{T_x}{J_w}$ یا $\frac{T_y}{J_w}$ بدست می‌آیند.
- ۵- تنش حداکثر به صورت برداری تعیین می‌شود.
- ۶- با مقایسه‌ی تنش حداکثر با تنش طراحی برشی جوش گوشه ϕF_w ، بعد جوش گوشه محاسبه می‌گردد. برای توضیح بیشتر مراحل ۴ و ۵ به شکل ۴۴-۲ توجه کنید.



ب



الف

شکل ۲ - ۴۴ - انتقال نیروها به مرکز سطح جوش

f_{x1} تنش برشی ناشی از نیروی P_x ، تنش برشی در راستای محور x ناشی از T ، f_{y1} تنش برشی ناشی از نیروی P_y و f_{y2} تنش برشی در راستای محور y ناشی از T در نقطه‌ی A توسط روابط زیر تعیین می‌شوند،

$$f_{x1} = \frac{P_x}{A} \quad \leftarrow \quad f_{x2} = \frac{T_y}{J} \quad \leftarrow$$

$$f_{y1} = \frac{P_y}{A} \quad \downarrow \quad f_{y2} = \frac{T_x}{J} \quad \downarrow$$

نتایج نیروها در شکل ۲-۴۴- ب نشان داده شده است. تنش مقایسه یا برآیند تنش‌ها برابر است با،

$$f_r = \sqrt{(f_{x1} + f_{x2})^2 + (f_{y1} + f_{y2})^2} \quad (20-2)$$

مثال ۲ - ۳ :

جوش گوشه در اتصال براکتی شکل ۲-۴۵ که به ترتیب تحت تأثیر نیروهای افقی و قائم ۱۵ و ۲۰ تن قرار دارد را طراحی کنید. الکتروود مصرفی E70 و جوش در کارخانه و توسط بازرسی چشمی توسط افراد مجرب انجام می‌گیرد ($\beta = 0.85$). بارهای اعمالی شامل مرده و زنده به ترتیب با نسبت‌های ۱ به ۳ می‌باشند.

حل :

برای محاسبه‌ی محل مرکز سطح جوش گوشه‌ی ناودانی شکل می‌توان نوشت،

$$\bar{x} = \frac{2 \times 15 \times 7.5}{60} = 3.75 \text{ cm}$$

در محاسبه‌ی محل مرکز سطح از ممان استاتیک جوش قائم صرف‌نظر شده است.

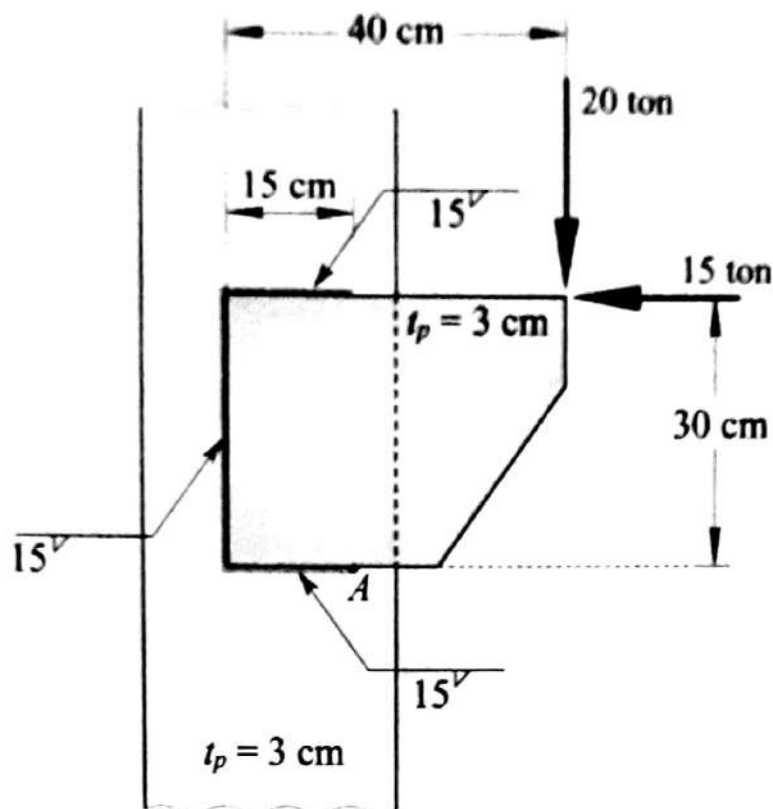
سطح مقطع مؤثر گلوی جوش A_w و ممان اینرسی I_x و I_y با فرض ضخامت واحد برای گلوی

$$A_w = 2 \times 15 + 30 = 60 \text{ cm}^2$$

مؤثر جوش برابر خواهد بود با،

$$I_x = \frac{30^3}{12} + 2 \times 15 \times 15^2 = 9000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 30 \times 3.75^2 + \frac{2}{3} (3.75^3 + 11/25^3) = 140.6/25 \text{ cm}^4$$



شکل ۲-۴۵ - مثال ۲-۳

در محاسبه‌ی ممان اینرسی از ممان اینرسی جوش حول محور موازی راستای خود صرف‌نظر شده است. ممان اینرسی قطبی J_w برابر خواهد بود با،

$$J_w = I_x + I_y = 10406/25 \text{ cm}^4$$

برای محاسبه‌ی P_{ux} و P_{uy} با توجه به ترکیب بارگذاری مطابق مبحث ششم از مقررات ملی ساختمان ایران به صورت $1/2D + 1/6L$ ، می‌توان نوشت،

$$P_{ux} = 1/2 \times \frac{1}{4} \times 15 + 1/6 \times \frac{3}{4} \times 15 = 22/5 \text{ t}$$

$$P_{uy} = 1/2 \times \frac{1}{4} \times 20 + 1/6 \times \frac{3}{4} \times 20 = 30 \text{ t}$$

لنگر پیچشی T_u حول مرکز سطح برابر است با،

$$T_u = 30 \times (40 - 3/25) - 22/5 \times 15 = 750 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

تنش برشی ناشی از نیروهای ۲۲/۵ و ۳۰ تن برابر است با،

$$f_{ux1} = \frac{22500}{60} = 375 \text{ kg/cm}^2 \quad f_{uy1} = \frac{30000}{60} = 500 \text{ kg/cm}^2$$

تنش‌های برشی ناشی از لنگر پیچشی T_u برابر خواهد بود با،

$$f_{uxr} = \frac{T_u y}{J_w} = \frac{750 \times 10^3 \times 15}{10406/25} = 1081 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{uyr} = \frac{T_u x}{J_w} = \frac{750 \times 10^3 \times 11/25}{10406/25} = 811 \text{ kg/cm}^2$$

برای محاسبه‌ی برآیند تنش‌ها f_{ur} براساس جمع‌برداری می‌توان نوشت،

$$f_{ur} = \sqrt{(375 + 1081)^2 + (500 + 811)^2} = 1959 \text{ kg/cm}^2$$

تنش طراحی جوش گوشه برای الکتروود E70 ($F_{ue} = 4900 \text{ kg/cm}^2$)، $\beta = 0/85$ برابر خواهد بود با،

$$\phi F_w = \phi \beta F_{nw} = 0/75 \times 0/85 \times 0/6 \times 4900 = 1874/25 \text{ kg/cm}^2$$

a_{we} ، بعد مؤثر گروی جوش برابر است با،

$$a_{we} = \frac{f_{ur}}{\phi F_w} = \frac{1959}{1874/25} = 1/045 \text{ cm}$$

a_w ، بُعد جوش گوشه برابر خواهد بود با،

$$a_w = \frac{a_{we}}{0/707} = 1/5 \text{ cm}$$

چون ضخامت صفحات اتصالی 30 mm می‌باشد لذا حداقل بعد جوش گوشه 8 میلی‌متر و حداکثر آن 28 میلی‌متر است. بنابراین،

$$(a_w)_{\min} = 8 \text{ mm} < a_w = 15 \text{ mm} < (a_w)_{\max} = 28 \text{ mm}$$

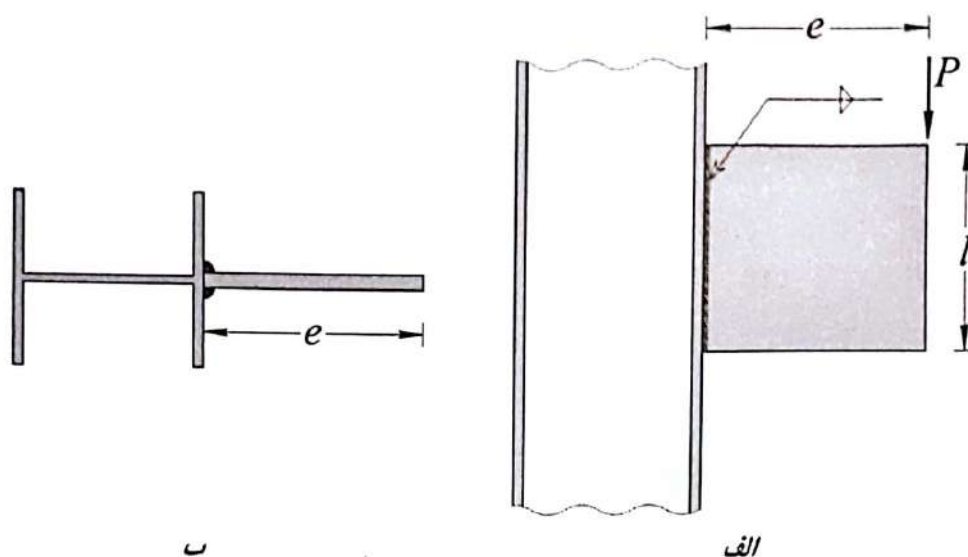
نتیجه در شکل ۲-۴۵ نشان داده شده است.

۴ - جوش گوشه تحت برش و خمش

در بعضی از اتصالات، جوش‌های گوشه تحت اثر توأم برش و خمش قرار می‌گیرند. شکل ۲-۴۴ اتصال یک ورق به بال ستون را نشان می‌دهد که تحت اثر نیروی P با خروج از مرکزیت e قرار دارد. جوش‌های گوشه در محل اتصال باید نیروی برشی معادل P و لنگر خمشی برابر Pe را تحمل نمایند.

چون مقدار و جهت تنش‌ها در جوش در هر نقطه تابعی از خواص ارتجاعی اتصال است، وضعیت توزیع تنش‌ها در آن کاملاً روشن نبوده و به آسانی قابل محاسبه نخواهد بود.

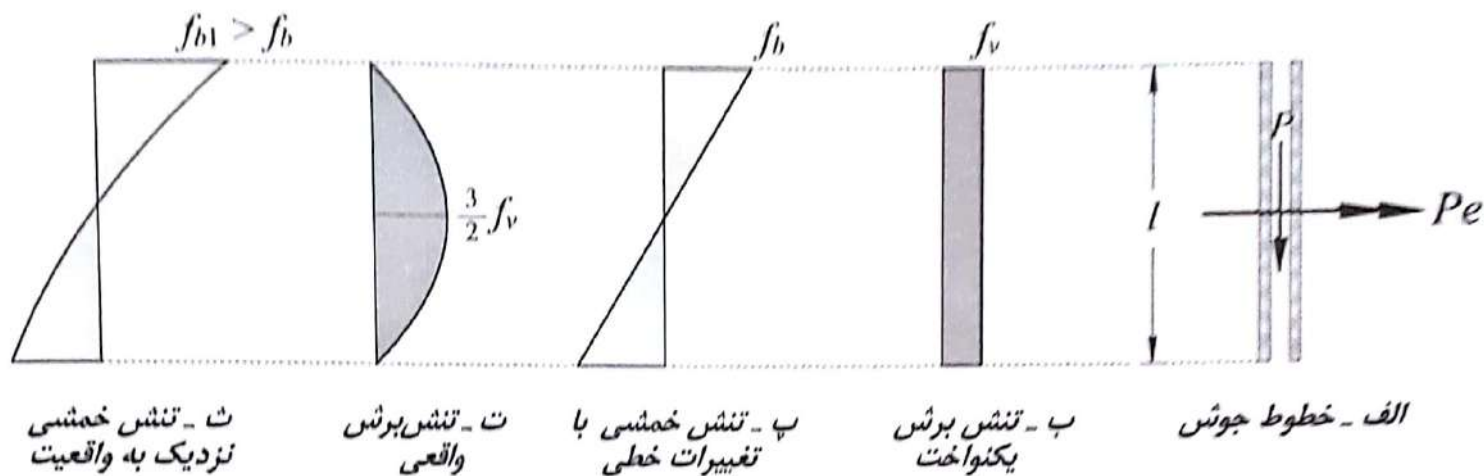
روش معمول در محاسبه‌ی این‌گونه جوش‌ها بدین صورت است که هر کدام از تنش‌های برشی و خمشی را طبق روش‌های مرسوم در علم مکانیک جامدات برای تیرها محاسبه نموده و برآیند آن‌ها را به صورت برداری با تنش طراحی جوش در برش کنترل می‌کنند.



شکل ۲-۴۶- جوش سر تحت اثر توأم برش و خم

هر چند این‌گونه محاسبه چندان مستدل به نظر نمی‌رسد ولی نتایج حاصل از آزمایش‌ها قابل قبول بودن آن را تأیید نموده است. قابل ذکر است که بعضی از طراحان تنش اصلی ماکزیمم را محاسبه و با تنش طراحی جوش مقایسه می‌کنند.

در این روش محاسبه فرض می‌شود که دو خط جوش به طول L (شکل ۲-۴۷- الف) تحت تنش برشی یکنواخت (شکل ۲-۴۷- ب) ناشی از نیروی برشی و نیز تحت تنش قائم به صورت کششی و فشاری با تغییرات خطی مطابق شکل ۲-۴۷- پ قرار دارند. خوانندگان از درس مقاومت مصالح به یاد دارند که تغییرات تنش برشی در مقطع مربع مستطیل سهمی بوده و مقدار آن در تارهای انتهایی صفر و حداکثر آن $1/5$ برابر مقدار متوسط آن است (شکل ۲-۴۵- ت). ضمناً فرضیه‌ی خمش ساده‌ی تیر نیز برای تیرهای کوتاه صادق نبوده و تنش حداکثر که در تارهای انتهایی رخ می‌دهد از مقدار معمول آن که از رابطه‌ی $f = \frac{Mc}{I}$ به دست می‌آید بیشتر است و تغییرات واقعی دیاگرام لنگر خمشی بیشتر شبیه شکل ۲-۴۷- ث می‌باشد. البته به گونه‌ای افزایش تنش خمشی که در تارهای انتهایی به وجود می‌آید در مقابل به کار بردن توزیع یکنواخت تنش برشی و منظور نمودن آن در تارهای انتهایی جبران می‌شود.



شکل ۲ - ۴۷ - دیاگرام‌های تنش جوش تحت اثر توأم برش و خمش

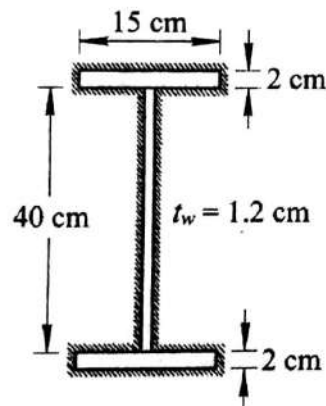
اگر A_w سطح مقطع مؤثر گلولی جوش و I_w ممان اینرسی حول محور خمش جوش باشد، آن‌گاه می‌توان نوشت،

$$f_v = \frac{P}{A_w} \quad f_b = \frac{ML}{2I_w} \quad (2-21)$$

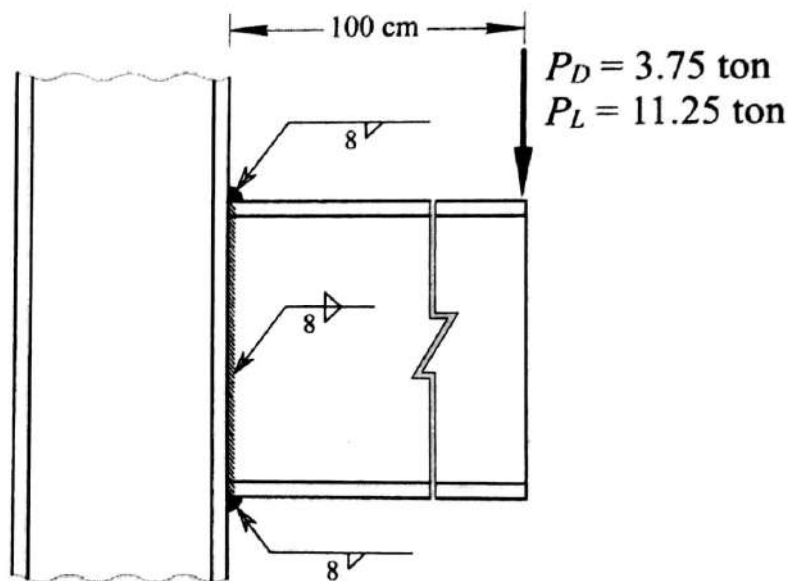
f_r تنش برآیند برابر خواهد بود با،

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} \quad (2-22)$$

یک تیر ورق I شکل که عرض بال آن $b_f = 15 \text{ cm}$ و ضخامت بال $t_f = 2 \text{ cm}$ ، ارتفاع جان $h = 40 \text{ cm}$ و ضخامت جان آن $t_w = 1/2 \text{ cm}$ است توسط جوش گوشه و به صورت کنسولی به بال ستون متصل شده است و انتهای کنسول نیروی $P_D = 3/75 \text{ t}$ ، $P_L = 11/25 \text{ t}$ با خروج از مرکزیت ۱۰۰ سانتی متر قرار دارد (شکل ۲-۴۸). جوش گوشه را از الکتروود E70 و $\beta = 0/85$ طرح کنید.



ب - مقطع جوش



الف

V_u نیروی برشی و M_u لنگر خمشی وارد بر جوش برابر است با،

$$V_u = 1/2 \times 3/75 + 1/6 \times 11/25 = 22/5 \text{ t}$$

$$M_u = 22/5 \times 100 = 2250 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

با فرض بعد مؤثر گلولی جوش گوشه برابر واحد، برای محاسبه‌ی ممان اینرسی جوش می‌توان نوشت،

$$I_w = 2 \times \frac{40^3}{12} + 2 \times 15 \times 22^2 + 2 \times 13/8 \times 20^2 = 36226/7 \text{ cm}^4$$

f_{uv} تنش برش حاصل از نیروی V_u به فرض تحمل آن تنها توسط خطوط قائم جوش برابر است با،

$$f_{uv} = \frac{V_u}{A_w} = \frac{2250}{2 \times 40} = 281/25 \text{ kg/cm}^2$$

برای محاسبه‌ی f_{ub} تنش خمشی در جوش در محل تقاطع جوش با بال خواهیم داشت،

$$f_{ub} = \frac{M_u c}{I_w} = \frac{2250 \times 1000 \times 20}{36226/7} = 1242/2 \text{ kg/cm}^2$$

برآیند تنش‌ها برابر خواهد بود با،

$$f_{ur} = \sqrt{281/25^2 + 1242/2^2} = 1273/6 \text{ kg/cm}^2$$

ϕF_w تنش طراحی جوش برای الکتروود E70، $\beta = 0/85$ برابر است با،

$$\phi F_w = \phi \beta F_{nw} = 0/75 \times 0/85 \times 0/6 \times 4900 = 1874/25 \text{ kg/cm}^2$$

a_{we} بعد مؤثر گلولی جوش و نیز a_w اندازه‌ی ساق جوش برابر خواهند بود با،

$$a_{we} = \frac{f_{ur}}{\phi F_w} = \frac{1273/6}{1874/25} = 0/68 \text{ cm} \quad a_w = \frac{a_{we}}{0/707} = 0/96 \text{ cm}$$

بنابراین بعد جوش گوشه a_w برابر با ۱ cm می‌باشد.

بعضی از طراحان در محاسبه‌ی تنش برشی، سطح مقطع کل را به جای سطح مقطع جان در نظر

می‌گیرند در این صورت خواهیم داشت،

$$f_{uv} = \frac{2250}{2 \times 40 + 2 \times 15 + 2 \times 13/8} = 163/5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{ur} = \sqrt{163/5^2 + 1242/2^2} = 1253 \text{ kg/cm}^2$$

در این حالت بعد مؤثر و نیز بعد جوش برابر است با،

$$a_{we} = \frac{1253}{1874/25} = 0.67 \text{ cm}$$

$$a_w = \frac{0.66}{0.707} = 0.95 \text{ cm}$$

بعد جوش گوشه a_w برابر با ۱ cm مناسب خواهد بود.

اتصالات پیچی

امروزه استفاده از پیچ به عنوان یک وسیله‌ی اتصال مناسب و قابل اطمینان در ساخت و اجرای سازه‌های فولادی بسیار رایج و متداول گردیده است. چون عموماً در ساخت و تولید پیچ‌ها از فولادهای مخصوص با عملیات ویژه استفاده می‌کنند، مصالح پیچ‌ها دارای مقاومت گسیختگی به مراتب بالاتر از فولادهای ساختمانی معمولی می‌باشند. دستیابی به پیچ‌های پرمقاومت و با کیفیت مناسب موجب فراهم شدن افق‌های جدیدی در زمینه‌ی اتصالات انواع سازه‌های فولادی اعم از ساختمان، پل و تأسیسات صنعتی گردیده است.

در این فصل ضمن ارائه‌ی مزایا و معایب اتصالات پیچی، انواع پیچ‌ها از لحاظ نوع و مقاومت، عملکرد و کاربرد بیان گردیده و چگونگی رفتار انواع اتصالات توسط آن‌ها تحت تأثیر نیروهای گوناگونی نظیر کشش، برش، پیچش، خمش و ترکیب آن‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه ضمن ارائه‌ی نحوه‌ی محاسبه‌ی مقاومت مورد نیاز در اتصالات پیچی و مقایسه و کنترل آن با مقاومت طراحی مربوطه، محدودیت‌های مندرج در آئین‌نامه‌های طراحی برای اتصالات پیچی نیز بیان خواهد شد.

در انتهای فصل نیز مثال‌های متنوعی از نحوه‌ی کاربرد پیچ‌ها در اتصالات سازه‌های فولادی ارائه خواهد شد.

۳-۲ مزایا و معایب اتصالات پیچی

همان‌گونه که در فصل اول ذکر شد با توجه به مشکلات اجرایی که در اجرای سازه‌های فولادی توسط اتصالات به کمک پرچ وجود دارد، امروزه استفاده از پیچ‌های پرمقاومت به عنوان یک وسیله‌ی

اتصال مناسب جایگزین پرچ و در مواردی نیز جوش، گردیده است. برای اتصالات پیچی مزایای متعددی را می‌توان بر شمرده، هرچند در کنار این مزایا مشکلاتی نیز در مسیر اجرای این‌گونه اتصالات وجود دارد که به عنوان عیب تلقی می‌شوند.

۳- ۲- ۱ مزایای اتصالات پیچی

مزایای اتصالات پیچی بدین شرح است،

- ۱- سرعت نصب و مونتاژ بالا: سرعت نصب و اجرای سازه‌های فولادی به کمک اتصالات پیچی بسیار بالا بوده و در مدت کوتاهی می‌توان یک سازه‌ی فولادی را به کمک پیچ سرپا کرد.
- ۲- امکان باز نمودن سازه و استفاده‌ی مجدد: اعضای سازه‌های فولادی را که با پیچ به یکدیگر متصل شده‌اند، می‌توان از هم جدا نمود و در محل دیگری مجدداً آن‌ها را به یکدیگر متصل و سازه‌ی جدیدی را احداث نمود. این موضوع در اجرای سازه‌های موقت نظیر پل‌ها و داربست‌های غیردائم اهمیت ویژه‌ای دارد.
- ۳- محدودیت در تأمین وسایل و تجهیزات جوشکاری: در مواردی که امکان فراهم نمودن تجهیزات و وسایل نظیر دستگاه جوش و برق مورد نیاز نباشد، استفاده از پیچ در اتصالات به عنوان یک روش جایگزین چاره‌ساز خواهد بود.
- ۴- عدم نیاز به کارگر ماهر: چنانچه در فصل دوم ذکر شد، در استفاده از فن جوشکاری به وجود کارگر ماهر نیاز است. در مواردی که کارگر ماهر در دسترس نباشد به کمک پیچ می‌توان تا حد زیادی این محدودیت را برطرف نمود.
- ۵- بی‌سر و صدا بودن هنگام نصب و اجرا: اصولاً اجرای سازه‌های فولادی به کمک اتصالات پیچی همراه با سر و صدای زیاد نمی‌باشد. در حالی که اجرای سازه‌های فولادی به کمک پرچ توأم با سر و صدای زیاد و در مواردی آزاردهنده است.
- ۶- شرایط محیطی کار: همان‌گونه که در فصل دوم اشاره شده، برای اجرای مناسب اتصالات جوشی لازم است درجه حرارت محیط، تهویه‌ی هوا، محل استقرار و نیز فضای دسترسی به اتصال در شرایط مناسب و قابل قبولی باشند. در حالی که محدودیت‌های ذکر شده در اجرای سازه‌های فولادی به کمک اتصالات پیچی به مراتب کم‌تر است.

۷- عدم محدودیت در اعضای اتصال: در اجرای سازه‌های فولادی ممکن است مواردی پیش آید که امکان جوش‌پذیری اعضای سازه به آسانی و با کمک تجهیزات و وسایل موجود میسر نباشد، در این صورت استفاده از اتصالات پیچی چاره‌ساز است.

۸- کم هزینه بودن کارهای نصب و اجرا: چون در اجرای سازه‌های فولادی به کمک اتصالات پیچی به وسایل معمولی نیاز بوده و احتیاج به تجهیزات خاص و نیز کارگرهای ماهر و متخصص نمی‌باشد، هزینه‌ی اجرای سازه کاهش می‌یابد.

ضمناً چنان‌چه بنا به عللی در هنگام نصب، سفت کردن پیچ‌ها قبل از اعمال بار به خوبی انجام نشده باشد امکان محکم کردن دوباره میسر می‌باشد.

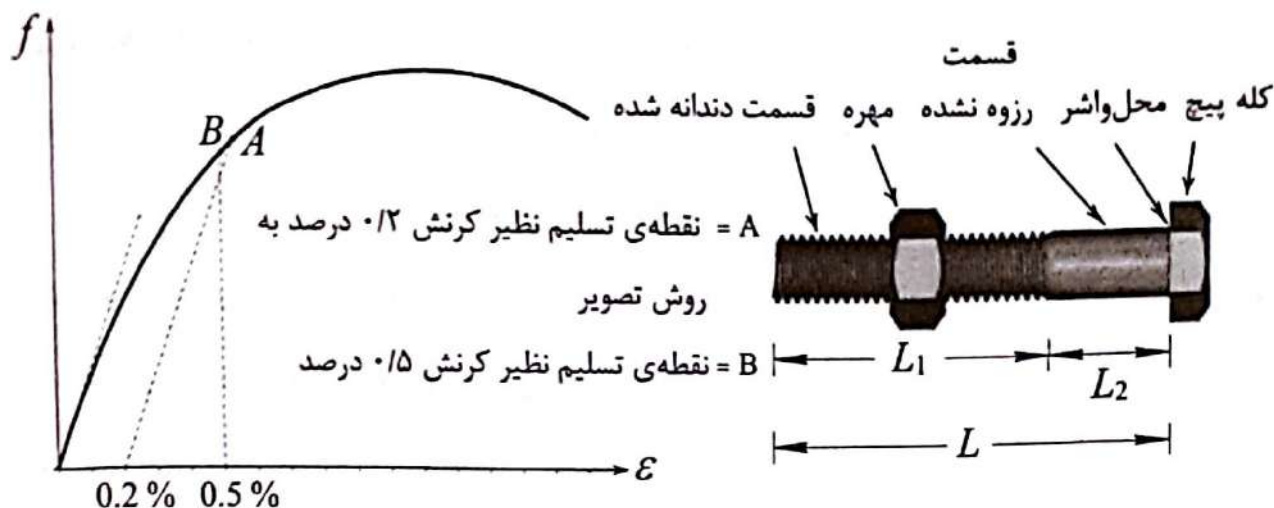
۳- ۲- ۲ معایب اتصالات پیچی

مشکل عمده در اجرای سازه‌های فولادی با اتصالات پیچی در اثر اجرای غلط و نامناسب سوراخ‌ها و عدم رعایت میزان پیش‌تنیدگی لازم در پیچ‌ها و عدم انطباق آن‌ها هنگام اجرا و نصب پدید می‌آید. بنابراین در تعبیه‌ی سوراخ‌های اعضا در کارگاه‌های صنایع فلزی، باید به دقت محل سوراخ‌ها تعیین و با وسایل و تجهیزات مناسب عمل سوراخ نمودن اعضا صورت گیرد.

۳- ۳ پیچ‌های معمولی و پیچ‌های پر مقاومت

تقسیم‌بندی پیچ‌های معمولی و پیچ‌های پرمقاومت با توجه به مقاومت نهایی کششی آن‌ها و نوع مصالحی که در ساخت و تولید آن‌ها به کار می‌رود، انجام می‌گیرد. در شکل ۱-۳ شکل ظاهری یک پیچ کامل متشکل از تنه‌ی پیچ، مهره و واشر نشان داده شده است. هر دو نوع پیچ معمولی و پرمقاومت دارای شکل ظاهری مشابه یکدیگر هستند. خود پیچ از کله‌ی پیچ، بدنه و قسمت دندانه شده تشکیل شده است.

ساخت و تولید پیچ غالباً به وسیله‌ی فرم‌دهی سرد و توسط پرس انجام می‌گیرد. برای جلوگیری از تردی و شکنندگی در پیچ، حداقل شکل‌پذیری از مصالح پیچ انتظار می‌رود که در استانداردهای مختلف مقادیر آن ذکر گردیده است.



شکل ۳-۱ - شکل ظاهری مجموعه‌ی پیچ و نمودار تنش کرنش پیچ

واشر در مجموعه‌ی پیچ دارای شکل‌های گرد و یا چهارگوش بوده و ضخامت آن‌ها بین ۴ تا ۸ میلی‌متر می‌باشد و چنان‌چه خاصیت ارتجاعی داشته باشد به آن واشر فنری گویند. شکل کله‌ی پیچ و نیز سطح مقطع مهره به صورت شش ضلعی است. طول بدنه‌ی پیچ با توجه به ضخامت اجزای اتصال انتخاب می‌شود. حد فاصل اعضای اتصالی با دندانه، با واشر پر می‌شود. پیچ‌ها با طول بین ۳۰ الی ۲۰۰ میلی‌متر در سری‌های ۵ میلی‌متری ساخته می‌شوند.

۳-۳-۱ پیچ‌های معمولی

مصالح پیچ‌های معمولی از نوع فولاد نرمه با کربن کم می‌باشد. پیچ‌های معمولی در استاندارد آمریکایی ASTM با علامت A307 که عمدتاً در کله‌ی پیچ و در قسمت شش ضلعی حک گردیده است، مشخص می‌شوند. قیمت پیچ‌های معمولی از پیچ‌های پرمقاومت کم‌تر بوده و مورد مصرف آن‌ها در سازه‌های سبک مانند خرپاهای کوچک، سازه‌های موقتی و اعضای درجه دوم سازه‌ها مانند مهاربندها و لاپه‌ها می‌باشد. از پیچ‌های معمولی به عنوان وسیله‌ی کمکی مونتاژ نیز در اتصالاتی که اعضای اصلی آن توسط جوش و یا پیچ‌های پرمقاومت متصل می‌شوند، استفاده می‌شود. حد گسیختگی پیچ A307 حدود 4200 kg/cm^2 می‌باشد.

در استاندارد ISO طبقه‌بندی پیچ‌ها با دو عدد که توسط نقطه از یکدیگر مجزا و در کله‌ی پیچ حک می‌شوند، مشخص می‌شود. عدد اول با ضریب ۱۰۰۰ معرف F_u مقاومت کششی نهایی پیچ برحسب kg/cm^2 می‌باشد و عدد دوم بعد از اعشار حاصل ضرب یک دهم عدد دوم در عدد اول

(مقاومت کششی نهایی پیچ F_u) بیان گر F_y ، تنش حد تسلیم پیچ می باشد. به عنوان مثال پیچ 4.6 دارای مشخصات زیر است،

$$F_u = 4 \times 1000 \text{ kg/cm}^2 = 4000 \text{ kg/cm}^2 \quad F_y = 0.6 F_u = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

پیچ های 4.6 ، 4.8 ، 5.6 ، 5.8 و 6.8 در زمره ی پیچ های معمولی محسوب می شوند. پیچ 4.6 برای اتصالات اتکایی از نوع فولاد St37 و پیچ 5.6 برای اتصالات با فولاد St52 مصرف می شوند. پیچ های معمولی از قطرهای ۱۲ میلی متر (M12) تا ۳۶ میلی متر (M36) در بازار یافت می شوند. در کشور ما استاندارد ISO برای شناسایی پیچ ها بیشتر مورد توجه می باشد.

۳-۲- پیچ های پرمقاومت

عرضه ی پیچ های پرمقاومت تحول زیادی در صنعت سازه های فولادی و اتصالات آنها به وجود آورد. مصالح پیچ های پرمقاومت از فولاد با کربن متوسط است که خود و مهره ی آنها به وسیله ی عملیات مرغوب سازی (حرارت دهی و کاهش حرارت) تولید می شوند و قبل از شروع عملیات مرغوب سازی حدود ۱۶ تا ۲۵ ساعت گداخته می شوند.

در استاندارد ASTM ، پیچ های با علامت A325 و A449 با تنش تسلیم حدود 5600 kg/cm^2 تا 6300 kg/cm^2 و A490 از نوع فولاد آلیاژدار با تنش تسلیم 8000 kg/cm^2 تا 9000 kg/cm^2 از نوع پرمقاومت معرفی و طبقه بندی می شوند.

در استاندارد ISO پیچ های 8.8 با تنش نهایی $F_u = 8000 \text{ kg/cm}^2$ و تنش تسلیم $F_y = 6400 \text{ kg/cm}^2$ و 10.9 با تنش نهایی $F_u = 10000 \text{ kg/cm}^2$ و تنش تسلیم $F_y = 9000 \text{ kg/cm}^2$ شناسایی می شوند. پیچ های 12.9 و 14.9 که به عنوان پیچ های خیلی پرمقاومت مطرح هستند، در استاندارد ISO تعریف شده اند که پیچ 14.9 در بازار ایران به ندرت یافت می شود. قطر پیچ های پرمقاومت در محدوده ی ۱۲ تا ۳۶ میلی متر می باشد و قطرهای ۲۰ و ۲۲ میلی متر (M20 ، M22) در کارهای ساختمانی بیشتر رایج است.

در جدول ۱-۳ مشخصات پیچ های تولیدی یا موجود در ایران مطابق استانداردهای ASTM و ISO آورده شده است.

جدول ۳ - ۱ - مشخصات پیچ‌های تولید یا موجود در ایران

نوع پیچ	نام استاندارد		تنش تسلیم مصالح پیچ (F_y)	تنش کششی نهایی مصالح پیچ (F_u)
	ISO	ASTM		
پیچ‌های معمولی	—	A307	2400 kg/cm^2	4000 kg/cm^2
	4.6	—	2400 kg/cm^2	4000 kg/cm^2
	4.8	—	3200 kg/cm^2	4200 kg/cm^2
	5.6	—	3000 kg/cm^2	5000 kg/cm^2
	5.8	—	4000 kg/cm^2	5200 kg/cm^2
	6.8	—	4800 kg/cm^2	6000 kg/cm^2
پیچ‌های پرمقاومت	—	A325 $d \leq 24 \text{ mm}$	—	8000 kg/cm^2
	—	A325 $d > 24 \text{ mm}$	—	7250 kg/cm^2
	—	A490	—	10000 kg/cm^2
	8.8	—	—	8000 kg/cm^2
	10.9	—	—	10000 kg/cm^2
	12.9	—	—	12000 kg/cm^2

پیچ‌های پرمقاومت به دلیل قابلیت تحمل خوب نیروهای پیش‌تندگی برای اتصالات اصطکاکی کاربرد وسیع دارند.

پیچ‌های معمولی ممکن است تحت تأثیر بارهای متناوب نظیر نیروهای ناشی از لرزش، نوسان، ضربه و نیروهای دینامیکی شل شده و مهره‌ها از پیچ جدا شوند. برای جلوگیری از شل شدن مهره‌ها می‌توان از دو مهره (زوج مهره)، ورق‌های شیاردار بر روی مهره، خار خم شده یا فنری در پشت مهره و یا واشر فلزی استفاده نمود.

امکان شل شدن پیچ‌ها در اتصالات اصطکاکی به علت اعمال نیروی پیش‌تندگی بر روی مهره وجود ندارد و این نوع پیچ‌ها برای نیروهای دینامیکی نیز مناسب هستند. برای جلوگیری از شل شدن پیچ‌ها می‌توان از چسب‌های مخصوص که دندانه‌ی پیچ در آن آغشته شده و پس از آن مهره بسته می‌شود، استفاده کرد.

۱۳- حل و فصل بلافاصله‌ی هرگونه اختلاف‌نظر درخصوص دستیابی به میزان پیش‌تنیدگی موردنظر.

۱۴- تهیه‌ی گزارش کاملی درخصوص اتصالاتی که مشاهده و بازرسی شده و مورد قبول واقع شده‌اند. این گزارش باید طبق برنامه و در زمان‌های مربوط به مسئول معرفی شده تحویل شود.

۳- ۵ اتصالات اتکایی و اصطکاکی

اتصالات پیچی را می‌توان در دو شکل اتصال نوع اتکایی^۱ و اتصال نوع اصطکاکی^۲ طبقه‌بندی نمود. اتصال نوع اتکایی را اتصال معمولی و یا اتصال غیر اصطکاکی نیز می‌نامند. هر دو نوع اتصال توسط آئین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی نظیر AISC و مقررات ملی ساختمانی ایران به رسمیت شناخته شده است و طبق ضوابط هر دو آئین‌نامه برای هر دو نوع اتصال باید از پیچ‌های پر مقاومت که به یک شیوه نصب و اجرا می‌شوند، استفاده کرد.

۳- ۵- ۱ اتصالات اتکایی

در مواردی که لغزش جزئی بین صفحات اتصال مجاز باشد اتصال اتکایی به کار می‌رود. در اتصالات اتکایی، لغزش بین صفحات به گونه‌ای است که بدنه‌ی پیچ با جداری سوراخ‌ها تماس پیدا می‌کند. معیار طراحی در اتصالات اتکایی مقاومت اتصال است. رفتار اتصالات اتکایی و اصطکاکی تحت بارهای سرویس به یکدیگر شباهت زیادی دارد، با این تفاوت که ضریب اطمینان در مقابل لغزش صفحات در اتصالات اتکایی کمتر از ضریب اطمینان در مقابل لغزش صفحات در اتصالات اصطکاکی است.

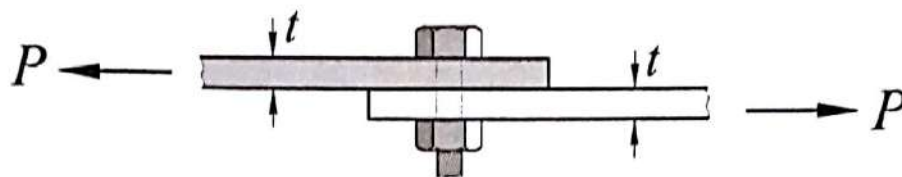
در اتصالات اتکایی پس از لغزش صفحات، انتقال بارهای وارده بر اتصال توسط ترکیبی از عمل اصطکاکی و اتکایی در پیچ و در بدنه‌ی سوراخ انجام می‌گیرد. چنان‌چه بارها به صورت استاتیکی به اتصال اتکایی اعمال شوند چون جهت بار با زمان تغییر نمی‌کند لغزش فقط یک بار رخ می‌دهد. اعمال بارهای دینامیکی موجب لغزش صفحات اتصال در جهات مختلف شده و موضع تماس بدنه‌ی پیچ با جداری سوراخ مرتباً عوض می‌شود. در ادامه نحوه‌ی انتقال نیرو و کنترل‌های لازم در اتصالات اتکایی بیان می‌گردد؛

1- Bearing-Type Connection

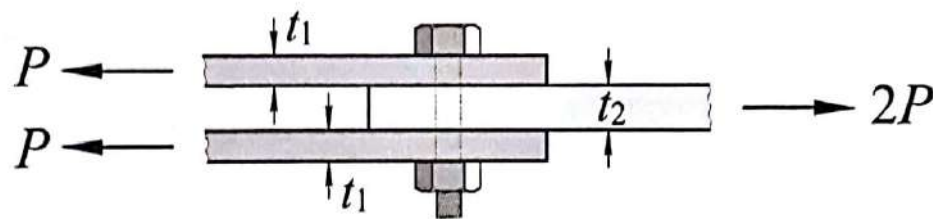
2- Friction-Type Connection

الف - نحوه‌ی انتقال نیرو در اتصالات اتکایی

در اتصالات اتکایی یا لهدیگی، قطعاتی که توسط پیچ به یکدیگر متصل شده‌اند پس از پشت سر گذاشتن مقاومت اصطکاکی جزئی به طور جهشی در خلاف جهت همدیگر می‌لغزند. مقاومت اصطکاکی جزئی بین اعضا عموماً ناشی از محکم بستن مهره‌های پیچ‌ها می‌باشد. بعد از لغزش، بدنه‌ی پیچ بر جداره‌ی سوراخ چسبیده و نیروهای اعمالی با ایجاد تنش برشی در پیچ یا تنش فشار مستقیم در جداره و پیچ منتقل می‌شوند. شکل ۳-۵ یک اتصال اتکایی که پیچ‌های آن تحت اثر برش یک‌طرفه و دوطرفه هستند را نشان می‌دهد.



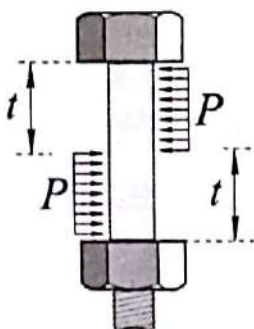
الف - اتصال برشی یک‌طرفه



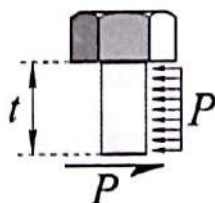
ب - اتصال برشی دوطرفه

شکل ۳-۵ - اتصال اتکایی توسط پیچ

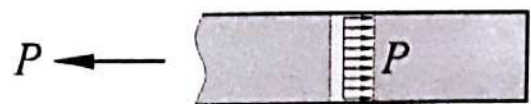
با اعمال نیرو در اتصال شکل ۳-۵ رفتار اتصال در ابتدا الاستیک و با افزایش آن رفتار اتصال وضعیت پلاستیک یا خمیری خواهد داشت. نمودار آزاد ورق اتصال بالایی و پیچ در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.



پ - پیچ



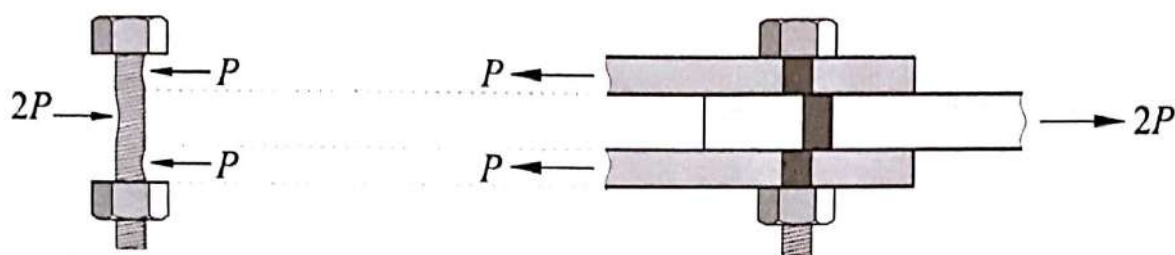
ب - نیمه‌ی بالایی پیچ



الف - ورق اتصال بالایی

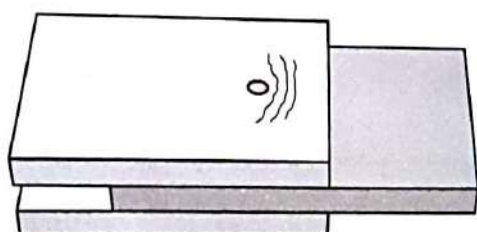
شکل ۳-۶ - نمودار آزاد اتصال اتکایی با برش یک طرفه

همان گونه که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، گسیختگی اتصال اتکایی ممکن است با انهدام پیچ و یا انهدام ورق همراه باشد. شکل ۳-۷ انواع گسیختگی‌های ممکن در اتصال اتکایی که پیچ‌ها در آن تحت برش دوطرفه هستند (شکل ۳-۵ - ب) را به صورت اغراق‌آمیز نشان می‌دهد.

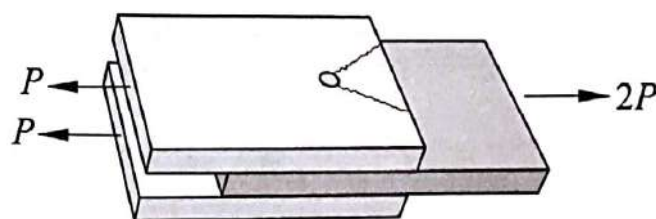


ب - لهیدگی بدنه‌ی پیچ

الف - گسیختگی برشی پیچ



ت - لهیدگی ورق فوقانی



پ - پارگی انتهای ورق فوقانی در اثر برش

شکل ۳-۷ - انواع گسیختگی‌های ممکن در اتصال اتکایی با برش دوطرفه

از هر یک از انهدام‌های ممکن که در شکل ۳-۷ نشان داده شده است باید جلوگیری به عمل آورد. به بیان دیگر، می‌باید تنش‌های ناشی از نیروهای اعمالی که ممکن است موجب هر کدام از انهدام‌های نشان داده شده در شکل ۳-۷ گردد، محاسبه و با مقادیر مجاز آن کنترل شود. ضمناً علاوه بر تنش‌های ناشی از نیروهای اعمالی در محل اتصال، ورق‌های اتصال نیز باید قادر به تحمل نیروهای وارده باشد. در ادامه، نحوه‌ی محاسبه‌ی تنش برای حالات مختلف اتصال شکل ۳-۵ ارائه می‌شود.

ب - کنترل‌های لازم در اتصالات اتکایی

۱- کنترل مقاومت کششی طراحی در ورق‌های اتصال

ورق‌های اتصال در شکل ۳-۵، تحت تأثیر نیروهای کششی قرار دارند و باید مقاومت طراحی (ϕP_n) از T_u نیروی کششی مورد نیاز با توجه به وجود سوراخ در آن‌ها بیشتر باشد. در فصل دوم از جلد پنجم کتاب سازه‌های فولادی نحوه‌ی محاسبه و کنترل کشش در اعضای سوراخ‌دار براساس روش حدی LRFD بیان گردید که خوانندگان می‌توانند جهت یادآوری به مطالب ارائه شده در آن فصل مراجعه نمایند. محاسبه و کنترل نیروهای کششی در ورق‌های اتصال بدین شرح است،

۳ - ۵ - ۲ اتصالات اصطکاکی

هنگامی که در یک اتصال مهره‌ی پیچ پس از محکم شدن اتصال، بیشتر پیچانده شود و به عبارت دیگر در پیچ نیروی پیش‌تنیدگی T_b ایجاد گردد، فشاری معادل نیروی T_b از طرف مهره‌ی پیچ بر روی ورق‌های اتصال وارد می‌شود. این نوع اتصال را اتصال اصطکاکی می‌نامند. در مواردی که قرار است هیچ‌گونه لغزشی تحت اثر بارهای سرویس بین ورق‌های اتصال رخ ندهد از اتصالات اصطکاکی استفاده می‌شود. در اتصال اصطکاکی اگر ورق‌های اتصال در جهت موازی با سطح خود تحت اثر نیروی P قرار گیرند به محض آغاز لغزش بین ورق‌ها، نیروی اصطکاکی N_f برابر μT_b که در آن μ ضریب اصطکاک بین ورق‌های اتصال است، باعث جلوگیری از لغزش می‌شود.

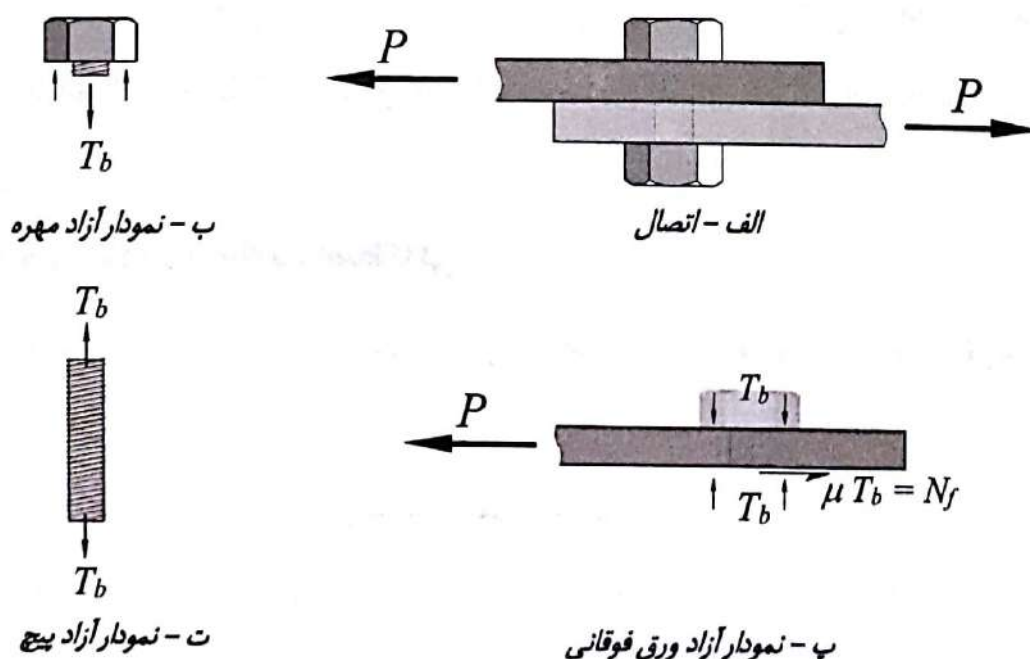
برای تعیین ضریب اصطکاک μ از روش‌های تجربی استفاده می‌شود. مقدار μ به زبر یا صیقلی بودن سطح ورق‌های اتصال بستگی دارد. ضریب اصطکاک μ برای فولادهای با مقاومت بالا بیشتر از

فولادهای معمولی است. به عنوان مثال ضریب μ برای فولاد St52 بیشتر از فولاد St37 است. مقدار μ برای فولاد معمولی با پوسته‌ی ناشی از نورد گرم بین $0/25$ تا $0/35$ ($0/25 \leq \mu \leq 0/35$) می‌باشد. برای افزایش μ روش ماسه‌پاشی و یا تمیز کردن به وسیله‌ی شعله پیشنهاد می‌گردد. عملیات ماسه‌پاشی و تمیز کردن با شعله باید بعد از سوراخ کردن انجام شود. چون دندانه‌ی پیچ‌ها قبل از قرار گرفتن در سوراخ روغن‌کاری می‌شوند با شعله باید دقت نمود که سطوح ورق‌ها به آن آلوده نگردند. به وسیله‌ی شعله یا ماسه‌پاشی می‌توان ضریب اصطکاک را برای فولاد تا $\mu = 0/5$ افزایش داد.

روش‌های پیش‌تنیدگی در پیچ در بخش ۳-۴ شرح داده شد.

در شکل ۳-۱۱ یک اتصال اصطکاکی که وسایل اتصال آن پیچ‌های پرمقاومت و پیش‌تنیده می‌باشد، نشان داده شده است. نمودار آزاد مهره‌ها، ورق‌های اتصال و پیچ نیز در این شکل به نمایش درآمده است.

در اتصال اصطکاکی چون نیروی اصطکاک $N_f = \mu T_b$ ناشی از پیش‌تنیدگی توانایی انتقال نیرو از طریق ورق‌های اتصال را دارد، تحت اثر بارهای سرویس بین بدنه‌ی پیچ و جداره نیروی لهیدگی ایجاد نمی‌شود (شکل ۳-۱۱). در یک اتصال اصطکاکی با افزایش بار، نیروی اصطکاک N_f دیگر قادر به مقابله با بارهای وارده نمی‌باشد. با افزایش نیروی P نیروهای مقاوم همان تنش‌های لهیدگی بین بدنه‌ی پیچ و جداره‌ی سوراخ و تنش برشی در پیچ خواهد بود. بنابراین انهدام یک اتصال اصطکاکی نیز مانند گسیختگی‌های نشان داده شده در شکل ۳-۷ خواهد بود.



شکل ۳-۱۱ - انتقال نیرو در یک اتصال اصطکاکی

در هر حال یک اتصال اصطکاکی دارای مزایا و محدودیت‌هایی بدین شرح است؛

الف - مزایای اتصالات اصطکاکی

- ۱- در اتصالات اصطکاکی برای پیچ‌های پر مقاومت عادی سوراخ کردن دقیق لازم نیست و دقت ۲ میلی‌متر کافی است.
- ۲- در اتصالات اصطکاکی چون بخشی از نیرو قبل از موضع سوراخ توسط اصطکاک تحمل می‌شوند لذا تنش‌های موجود در ورق و در محل سوراخ کاهش می‌یابد.
- ۳- به دلیل اعمال نیروی پیش‌تنیدگی، امکان شل شدن مهره‌ها کاهش می‌یابد.
- ۴- در بارگذاری‌های تناوبی، تأخیر در باربری ایجاد نشده و فقط جهت نیروی اصطکاک تغییر می‌کند.
- ۵- در بارگذاری‌های تناوبی با تعداد تناوب زیاد، پدیده‌ی خستگی پیچ کنترل می‌گردد.
- ۶- فشردگی دو ورق با نیروی قابل ملاحظه معادل نیروی پیش‌تنیدگی، موجب می‌شود سطح مناسب و یکنواختی برای انتقال نیروها به ویژه نیروهای لرزه‌ای با ماهیت رفت و برگشتی فراهم شود. انجام چنین رفتاری باعث خواهد شد کلبه‌ی پیچ‌ها به صورت هم‌زمان در باربری مشارکت کنند. این در حالی است که در اتصالات اتکایی به دلیل سطح تماس کوچک و لقی بین سوراخ و پیچ، احتمال عدم اتکای هم‌زمان کلبه‌ی پیچ‌ها به بدنه سوراخ‌ها زیاد خواهد بود. هم‌چنین پدیده‌ی تأخیر در انتقال نیرو (Shear Lag) در اتصالات اتکایی در بارگذاری‌های لرزه‌ای و با ماهیت رفت و برگشتی بسیار نامطلوب است. حاصل چنین امری عدم مشارکت کلبه‌ی پیچ‌ها در باربری هم‌زمان نیروهای لرزه‌ای در اتصالات اتکایی است. از این‌رو آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای استفاده از اتصالات اصطکاکی را برای اتصالات و وصله‌ی اعضای سیستم‌های باربر لرزه‌ای جانبی ضروری می‌دانند.

ب - محدودیت‌های اتصالات اصطکاکی

- ۱- در این‌گونه اتصالات به دلیل باربری کمتر پیچ‌ها، تعداد آن‌ها و سوراخ‌های لازم نسبت به اتصالات اتکایی بیشتر می‌شود.
- ۲- در اتصالات اصطکاکی تمیز کردن سطوح اتصال از آلودگی‌ها، امری ضروری است.
- ۳- قطعات باید پس از تمیزکاری به وسیله‌ی رنگ غیر لغزان برای جلوگیری از زنگ‌زدگی سطوح اتصال رنگ‌آمیزی شوند. رنگ‌های غیرلغزنده عموماً از نوع آلکالی - سیلیکات - روی بوده و عموماً قیمت اتصال را بالا می‌برند.

۱۰-۲-۹-۳ پیچ‌ها و قطعات دندانه‌شده

۱۰-۲-۹-۱ انواع پیچ‌ها

انواع متداول پیچ‌های مورد استفاده در اسکلت‌های فولادی عبارتند از پیچ‌های معمولی و پیچ‌های پرمقاومت. در جدول ۱۰-۲-۹-۶ مشخصات پیچ‌های موجود یا تولید در ایران طبق استانداردهای ASTM و ISO ارائه شده است. برای هر پیچ باید واشر و مهره سازگار مورد استفاده قرار گیرد.

پیچ‌ها با دو نوع عملکرد "اتکایی" و "اصطکاکی" مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از پیچ‌های پرمقاومت منطبق با استانداردهای ملی یا بین‌المللی، برای هر دو نوع اتصال و استفاده از پیچ‌های معمولی فقط در اتصالات اتکایی مجاز است. در اتصالات اتکایی ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی لازم نیست ولی در اتصالات اصطکاکی پیچ‌ها باید پیش‌تنیده گردند. حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۷ می‌باشد. برای حصول پیش‌تنیدگی استفاده از یکی از سه روش «سفت کردن مجدد مهره»، «واشرهای کشش سنج» یا «آچار مدرج» امکان‌پذیر است.

جدول ۱۰-۲-۹-۶ مشخصات پیچ‌های تولید یا موجود در ایران

تنش کششی نهایی مصالح پیچ (F_u)	تنش تسلیم مصالح پیچ (F_y)	نام استاندارد		نوع پیچ
		ISO	ASTM	
۴۰۰ MPa	۲۴۰ MPa	-	A۳۰۷	پیچ‌های معمولی
۴۰۰ MPa	۲۴۰ MPa	۴.۶	-	
۴۲۰ MPa	۳۲۰ MPa	۴.۸	-	
۵۰۰ MPa	۳۰۰ MPa	۵.۶	-	
۵۲۰ MPa	۴۰۰ MPa	۵.۸	-	
۶۰۰ MPa	۴۸۰ MPa	۶.۸	-	
۸۰۰ MPa	-		A۳۲۵ $d \leq 24\text{mm}$	پیچ‌های پرمقاومت
۷۲۵ MPa	-	-	A۳۲۵ $d > 24\text{mm}$	
۱۰۰۰ MPa	-	-	A۴۹۰	
۸۰۰ MPa	-	۸.۸		
۱۰۰۰ MPa	-	۱۰.۹		
۱۲۰۰ MPa	-	۱۲.۹		

جدول ۱۰-۲-۹-۷ حداقل نیروی پیش‌تینیدگی در اتصالات اصطکاکی (T_b)

پیچ‌های نوع A۴۹۰	پیچ‌های نوع A۳۲۵	قطر اسمی پیچ (بر حسب میلی‌متر)
۱۱۴ kN	۹۱ kN	M۱۶
۱۷۹ kN	۱۴۲ kN	M۲۰
۲۲۱ kN	۱۷۶ kN	M۲۲
۲۵۷ kN	۲۰۵ kN	M۲۴
۳۳۴ kN	۲۶۷ kN	M۲۷
۴۰۸ kN	۳۲۶ kN	M۳۰
۵۹۵ kN	۴۷۵ kN	M۳۶

تبصره: در مواردی که قطر اسمی پیچ غیر از اعداد ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۹-۷ باشد، حداقل نیروی پیش‌تینیدگی را می‌توان برابر $0.55A_{nb}F_u$ (که معادل $0.7A_{eb}F_u$ است) در نظر

گرفت، که در آن A_{nb} سطح مقطع اسمی پیچ، A_{eb} سطح مقطع خالص یا سطح مقطع زیر دندانه‌ها و F_u تنش کششی نهایی مصالح پیچ است.

۱۰-۲-۹-۳ مشخصات و فواصل سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

در اتصالات پیچی لازم است قطعات فولادی به نحو صحیح و متناسب با قطر پیچ سوراخ شوند. دقت در سوراخ‌کاری و سالم بودن بدنه سوراخ و نیز رعایت فواصل سوراخ‌ها از لبه قطعه و نیز از یکدیگر نقش مهمی در میزان مقاومت و باربری اتصالات پیچی ایفا می‌کند از این روی، لازم است به شرح زیر الزامات بندهای (الف) تا (ج) در طراحی و محاسبه مورد رعایت قرار گیرند.

(الف) انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی به شرح زیر می‌باشد.

۱. سوراخ استاندارد
۲. سوراخ بزرگ‌شده
۳. سوراخ لوبیایی بلند
۴. سوراخ لوبیایی کوتاه

(ب) محدودیت ابعاد اسمی سوراخ‌ها و دامنه کاربرد آنها

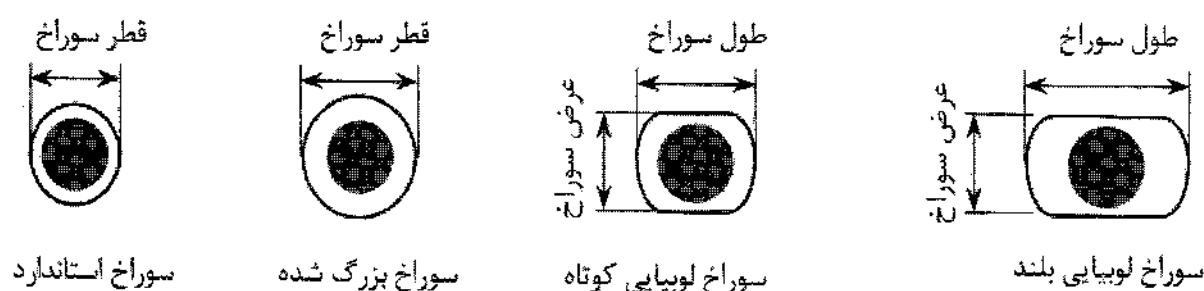
۱. ابعاد حداکثر سوراخ پیچ‌ها باید مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۸ باشند.
۲. سوراخ‌های بزرگ شده فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز است.
۳. سوراخ لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند ولی در اتصالات اتکایی، امتداد طولی سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشد.
۴. سوراخ لوبیایی بلند فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو در اتصالات اتکایی مجاز هستند. در اتصالات اصطکاکی در تمام امتدادها مجاز بوده لیکن باید فقط در یکی از ورق‌های اتصال وجود داشته باشد.
۵. در ورق کف‌ستون‌ها، ضمن رعایت رواداری‌های مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، حداکثر قطر سوراخ مساوی $d+6$ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱۰-۲-۹-۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ بر حسب میلی‌متر

ابعاد اسمی سوراخ (mm)				قطر پیچ (mm)
سوراخ لوبیایی بلند (طول×عرض)	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	سوراخ بزرگ‌شده	سوراخ استاندارد	
۱۸×۴۰	۱۸×۲۲	۲۰	۱۸	M۱۶
۲۲×۵۰	۲۲×۲۶	۲۴	۲۲	M۲۰
۲۴×۵۵	۲۴×۳۰	۲۸	۲۴	M۲۲
۲۷×۶۰	۲۷×۳۲	۳۰	۲۷	M۲۴
۳۰×۶۷	۳۰×۳۷	۳۵	۳۰	M۲۷
۳۳×۷۵	۳۳×۴۰	۳۸	۳۳	M۳۰
$(d+۳) \times ۲/۵ d$	$(d+۳) \times (d+۱۰)$	$d+۸$	$d+۳$	$\geq M۳۶$

پ) حداقل فواصل سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ‌شده و سوراخ‌های لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد.



شکل ۱۰-۲-۹-۱۰ انواع سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

ت) حداقل فاصله سوراخ‌ها تا لبه در اتصالات پیچی

فاصله مرکز سوراخ‌های استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول ۱۰-۲-۹-۸ کمتر باشد. برای سوراخ‌های بزرگ‌شده و سوراخ‌های لوبیایی فاصله مرکز سوراخ تا لبه

نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شده به اضافه مقدار C مربوطه از جدول ۱۰-۲-۹-۹ کمتر شود.

جدول ۱۰-۲-۹-۸ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه نورد شده ورق- نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره
۲d	۱/۷۵d

d = قطر اسمی پیچ

جدول ۱۰-۲-۹-۹ مقادیر افزایش حداقل فاصله سوراخ تا لبه (C)

سوراخ لوبیایی (mm)			سوراخ بزرگ شده (mm)
موازی با لبه	عمود بر امتداد لبه		
	لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه	
۰	۰/۷۵ d	۵ mm	۳ mm

ث) حداکثر فاصله مرکز سوراخ تا لبه

حداکثر فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا به شرح زیر است.

۱. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا نباید از ۱۲ برابر ضخامت نازکترین قطعه و همچنین از ۱۵۰ میلی متر تجاوز کند.

۲. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی شدید ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا نباید از ۸ برابر ضخامت نازکترین قطعه و همچنین ۱۲۵ میلی متر تجاوز کند.

ج) حداکثر فاصله مرکز تا مرکز سوراخها در اتصالات پیچی

حداکثر فاصله مرکز تا مرکز سوراخها در اتصالات پیچی در هر راستا به شرح زیر است.

۱. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله بین مرکز سوراخ‌ها نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده و همچنین از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.

۲. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی شدید ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله بین مرکز سوراخ‌ها نباید از ۱۴ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده و همچنین از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.

۱۰-۲-۹-۳ مقاومت کششی طراحی و مقاومت برشی طراحی در اتصالات اتکایی

در اتصالات اتکایی که در آنها لقی و خستگی در اثر ارتعاشات یا نوسانات بارگذاری مسئله‌ساز نیستند، کافی است پیچ‌ها را بدون ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی، تنها تا حالت سفت‌شدن اولیه محکم نمود. سفت‌شدن اولیه هنگامی است که یک کارگر معمولی با یک آچار معمولی تلاش کامل خود را برای محکم کردن پیچ به کار برد. در روش‌های ماشینی، سفت شدن اولیه پس از اعمال چند ضربه توسط دستگاه ایجاد می‌شود.

در تعیین مقاومت‌ها، سطح مقطع اسمی پیچ (مقطع دندان‌نشده پیچ) و میله‌های دندان‌شده (غیر از میله‌های با دندان‌های برجسته) ملاک می‌باشند. در میله‌های با دندان‌های برجسته، سطح مقطع میله بدون دندان ملاک محاسبه می‌باشد. همچنین، در مواردی که میل‌مهارهای کفستون‌ها از میلگرد ساخته می‌شوند، در تعیین مقاومت‌ها سطح مقطع اسمی ناحیه رزوه شده (که عموماً کوچکتر از قطر اسمی میلگرد می‌باشد)، ملاک محاسبه خواهد بود.

در اتصالات اتکایی، مقاومت کششی طراحی (ϕR_{nt}) و مقاومت برشی طراحی (ϕR_{nv}) پیچ‌ها و قطعات دندان‌شده از روابط زیر تعیین می‌گردند.

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_{nb} = \text{مقاومت کششی طراحی} \quad (۴-۹-۲-۱۰)$$

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_{nb} = \text{مقاومت برشی طراحی} \quad (۵-۹-۲-۱۰)$$

در روابط فوق:

ϕ = ضریب کاهش مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می‌باشد.

R_{nt} = مقاومت کششی اسمی

R_{nv} = مقاومت برشی اسمی

A_{nb} = سطح مقطع اسمی وسیله اتصال (پیچ یا قطعه دندانه شده)

F_{nt} = تنش کششی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۹-۲-۱۰

F_{nv} = تنش برشی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۹-۲-۱۰

جدول ۱۰-۹-۲-۱۰ تنش اسمی (پیچ و قطعات دندانه شده)

تنش کششی اسمی (F_{nt})	تنش برشی اسمی (F_{nv}) در اتصالات اتکایی	نوع وسیله اتصال
$0.75F_u$ [۱],[۲]	$0.45F_u$ [۵],[۳]	پیچ‌های معمولی
$0.75F_u$ [۴]	$0.45F_u$ [۵]	پیچ‌های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد
$0.75F_u$ [۴]	$0.55F_u$ [۵]	پیچ‌های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد
$0.75F_u$ [۱],[۶]	$0.45F_u$	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد
$0.75F_u$ [۱],[۶]	$0.55F_u$	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد

یادداشت‌ها:

[۱] فقط بارگذاری استاتیکی

[۲] در پیچ‌های معمولی که طول گیره آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، مقادیر فوق باید به ازای هر ۲ میلی‌متر طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.

[۳] قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است.

[۴] برای تنش کششی اسمی پیچ‌های پر مقاومت تحت اثر تنش کششی ناشی از خستگی به آئین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی رجوع شود.

[۵] وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلی‌متر تجاوز کند این مقادیر را باید ۲۰٪ کاهش داد.

[۶] مقاومت کششی اسمی ناحیه دندانه شده یک قطعه دندانه شده با حدیده تویی بر اساس سطح مقطع آن در قطر خارجی حدیده، A_D ، باید از سطح مقطع اسمی تنه (قبل از ناحیه تویی) ضریب F_y بیشتر باشد.

۱۰-۲-۹-۳-۴ اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی

مقاومت کششی طراحی و برشی طراحی پیچ‌های تحت اثر توأم کشش و برش باید بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و برشی مطابق روابط زیر تعیین شود.

$$\phi R_{nt} = \phi F'_{nt} A_{nb} = \text{مقاومت کششی طراحی} \quad (۱۰-۲-۹-۶)$$

$$\phi R_{nv} = \phi F'_{nv} A_{nb} = \text{مقاومت برشی طراحی} \quad (۱۰-۲-۹-۷)$$

که در آن:

$$F'_{nt} = F_{nt} \left[1/3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} \right] \leq F_{nt} \quad (۱۰-۲-۹-۸)$$

$$F'_{nv} = F_{nv} \left[1/3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} \right] \leq F_{nv} \quad (۱۰-۲-۹-۹)$$

ϕ = ضریب کاهش مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می‌باشد.

F_{nt} = مقاومت کششی اسمی مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۱۰ وقتی که نیروی کششی به تنهایی عمل نماید.

F_{nv} = مقاومت برشی اسمی مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۱۰ وقتی که نیروی برشی به تنهایی عمل نماید.

f_{uv} = تنش برشی مورد نیاز

f_{ut} = تنش کششی مورد نیاز

A_{nb} = سطح مقطع اسمی پیچ

تبصره: در مواردی که تنش کششی یا برشی مورد نیاز کمتر از ۳۰ درصد تنش طراحی متناظر

باشد ($f_u \leq 0/3 \phi F_n$)، منظور کردن رابطه اندرکنش لازم نیست.

مثال ۳ - ۲ :

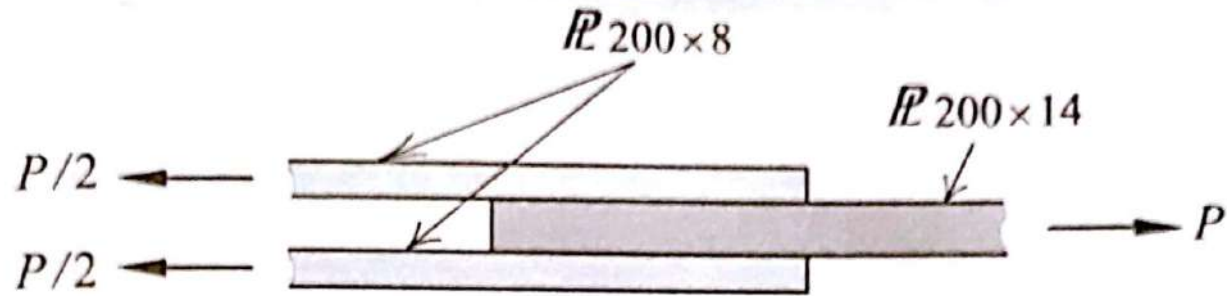
در اتصال اتکایی شکل ۳-۱۹ چنانچه از پیچهای 8.8 مطابق با استاندارد ISO و به قطر ۲۰ میلی‌متر که صفحه‌ی برش در داخل دندانه‌ها واقع است استفاده شود، مطلوبست،

$$P_u=60480 \text{ kg}$$

سوراخهای پیچ به صورت استاندارد فرض شوند.

حل :

چنانچه از دو عدد پیچ در هر ردیف استفاده شود



شکل ۳-۱۹ - مثال ۳-۲

کنترل برش در پیچ‌ها

F_{nv} تنش برشی اسمی مطابق جدول ۳-۸ برای حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد، برابر است با،

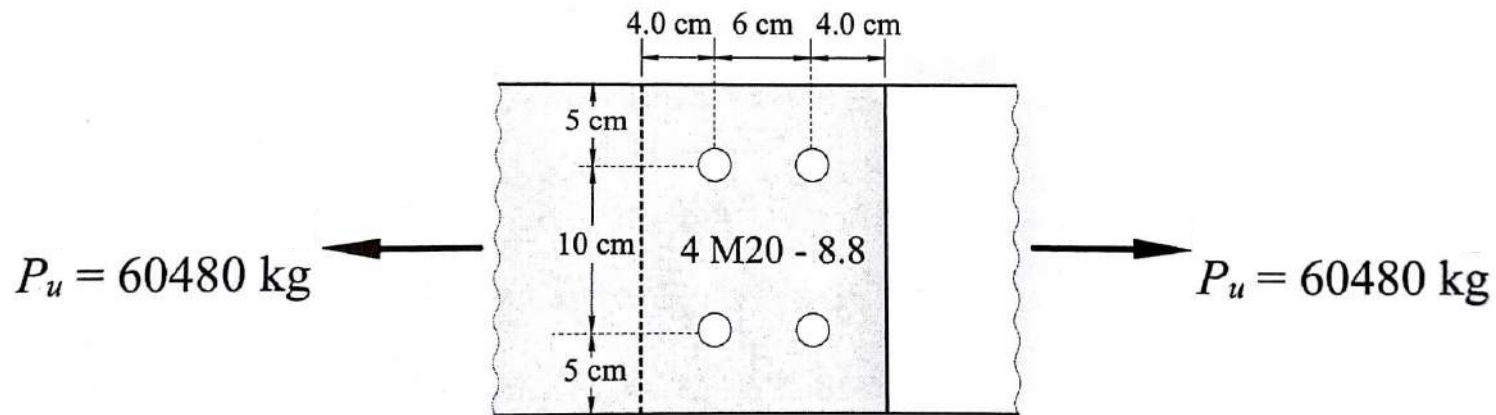
$$F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45 \times 8000 = 3600 \text{ kg/cm}^2$$

پیچ‌های اتصال تحت برش دوطرفه هستند با فرض توزیع یکنواخت تنش برشی در پیچ‌ها می‌توان نوشت،

$$P_u \leq \phi R_{nv} \Rightarrow P_u \leq \phi (2n_b F_{nv} A_{nb})$$

$$60480 \leq 0.75 \times 2n_b \times 3600 \times \pi \Rightarrow n_b = 4$$

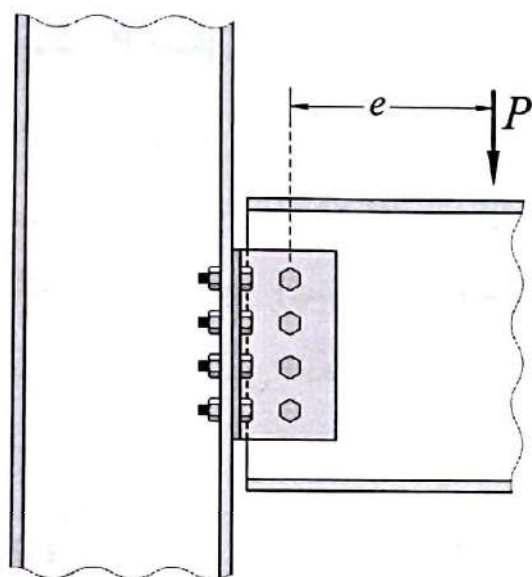
آرایش پیچ‌ها در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است.



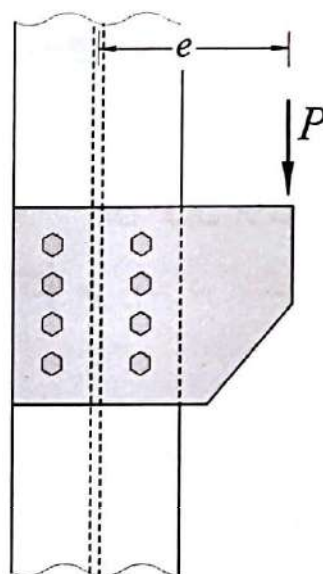
شکل ۳-۲۰ - آرایش پیچ‌ها مثال ۳-۲

۳- ۱۲- ۳ اتصال پیچی تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی

چنانچه خط اثر نیروی اعمالی از مرکز هندسی مجموعه‌ی پیچ، که در یک صفحه قرار دارند، عبور نکند، اتصال پیچی علاوه بر نیروی برشی تحت اثر لنگر پیچشی نیز قرار می‌گیرد. در شکل ۳-۲۳- الف پیچ‌های اتصال ورق به بال ستون و در شکل ۳-۲۳- ب پیچ‌های اتصال نبشی به جان تیر تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی قرار دارند.



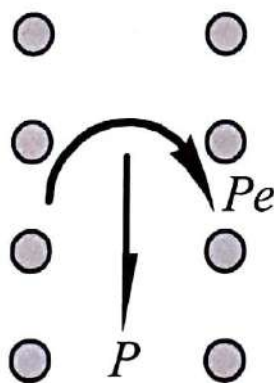
ب - اتصال به جان تیر



الف - اتصال به بال ستون

شکل ۳- ۲۳ - اتصال پیچی تحت اثر برش خارج از مرکز

نیروی برشی P با خروج از مرکزیت e را می‌توان به مرکز سطح پیچ‌ها همراه با لنگر پیچشی Pe منتقل نمود (شکل ۳-۲۴).

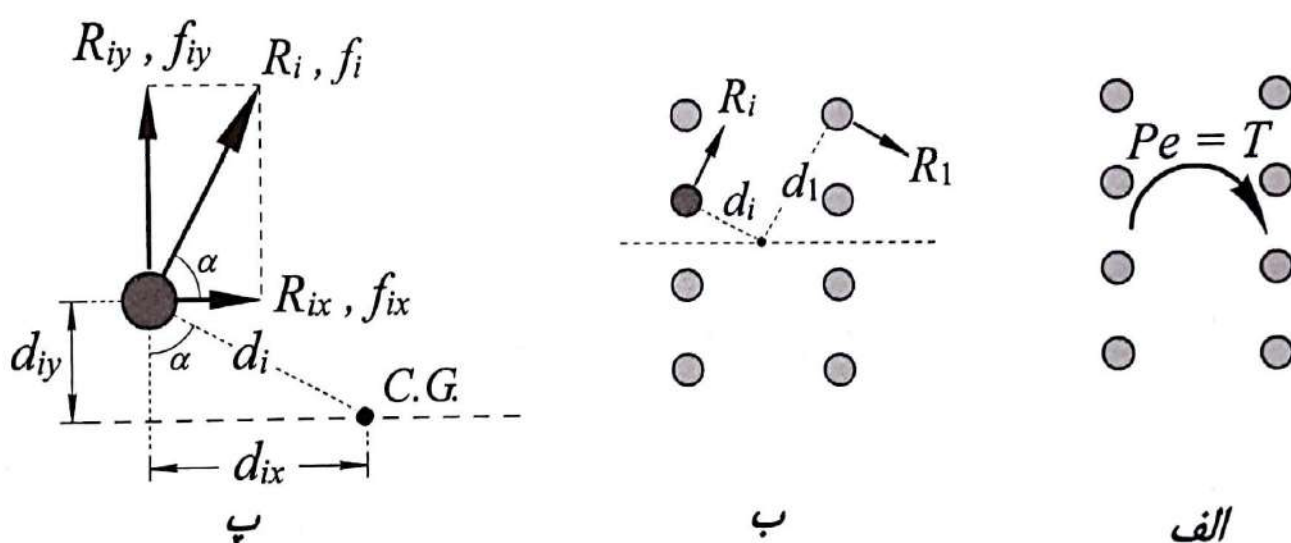


شکل ۳- ۲۴ - اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی بر مجموعه‌ی پیچ‌ها

هر چند تجزیه و تحلیل تنش در اتصالات پیچی به پیچیدگی اتصالات جوشی نیست، لیکن تعیین تنش‌های ایجاد شده در وسایل اتصال مستلزم فرضیات ساده کننده‌ای است.

برای حالتی که مجموعه‌ی پیچ تحت اثر هم‌زمان نیروی برشی و لنگر پیچشی قرار می‌گیرد، توزیع نیرو در پیچ‌ها با استفاده از روابط معمول علم مقاومت مصالح و با فرض رفتار الاستیک اتصال به دست می‌آید. اگر چه در اتصالات اصطکاکی تحت اثر نیروی برشی خارج از مرکز، نیرو توسط اصطکاک بین سطوح تحمل می‌شود، لیکن برای تعیین تنش‌های موجود در هر پیچ از اصطکاک ورق‌های اتصال صرف‌نظر می‌کنند. علی‌رغم این که تنش‌های حاصل از این روش دقیق نمی‌باشد ولی به عنوان یک معیار قابل قبول برای طراحی این گونه اتصالات، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نیروی برشی P (شکل ۳-۲۴) تنش برشی یکسانی در کلیه‌ی پیچ‌ها ایجاد می‌کند. برای تعیین تنش‌های برشی ناشی از لنگر پیچشی در پیچ‌های اتصال شکل ۳-۲۴ فرض می‌کنیم که تغییر شکل برشی هر پیچ متناسب با فاصله‌ی آن از مرکز پیچ‌ها می‌باشد. این فرض برای مقاطع مدور تحت اثر لنگر پیچشی نیز جهت تعیین تنش‌های برشی به کار می‌رود. در شکل ۳-۲۵ ب تنش‌های برشی در پیچ نشان داده است.



شکل ۳-۲۵ - اتصال پیچی تحت اثر لنگر پیچشی

با فرض تناسب تغییر شکل‌های برشی در پیچ‌ها با فواصل آن‌ها از مرکز هندسی مجموعه‌ی پیچ می‌توان نوشت،

$$\frac{f_1}{d_1} = \frac{f_i}{d_i} \quad (3-51)$$

اگر سطح مقطع پیچ i ام برابر A_i باشد در این صورت نیروی برشی R_i برابر خواهد بود با،

$$R_i = f_i A_i \quad (3-52)$$

مجموع لنگر نیروهای R_i برابر لنگر پیچشی T_i خواهد بود و می توان نوشت،

$$T = \sum R_i d_i \quad (53-3)$$

با استفاده از روابط (51-3) تا (53-3) می توان نوشت،

$$T = \sum f_i A_i d_i = \sum \frac{f_1}{d_1} A_i d_i = \frac{f_1}{d_1} \sum A_i d_i \quad (54-3)$$

$$f_1 = \frac{T d_1}{\sum A_i d_i} \Rightarrow f_i = \frac{T d_i}{\sum A_i d_i} \quad (55-3)$$

رابطه ی (55-3) با فرض $J = \sum A_i d_i^2$ مشابه رابطه ی معروف $\frac{T r}{J}$ در مقاومت مصالح برای تعیین

تنش برشی در مقاطع مدور تحت لنگر پیچشی است.

طراحان برای سهولت محاسبات ترجیح می دهند از مؤلفه های افقی و قائم R_i و d_i جهت تعیین تنش برشی f_i استفاده کنند. چنانچه R_{ix}, R_{iy} به ترتیب مؤلفه های نیروی R_i و d_{ix}, d_{iy} به ترتیب مؤلفه های فاصله ی d_i باشند (شکل ۳-۲۵-پ)، در این صورت می توان نوشت،

$$R_i = \sqrt{R_{ix}^2 + R_{iy}^2} \quad d_i = d_{ix} + d_{iy} \quad (56-3)$$

اگر f_{ix}, f_{iy} به ترتیب مؤلفه های افقی و قائم تنش f_i باشند، در این صورت با استفاده از شکل ۳-۲۵-پ خواهیم داشت،

$$f_{ix} = \frac{f_i d_{iy}}{d_i} \quad f_{iy} = \frac{f_i d_{ix}}{d_i} \quad (57-3)$$

با استفاده از رابطه ی (55-3) مؤلفه های افقی و قائم تنش f_i برابر خواهند بود با،

$$f_{ix} = \frac{T d_{iy}}{\sum A_i (d_{ix}^2 + d_{iy}^2)} \quad , \quad f_{iy} = \frac{T d_{ix}}{\sum A_i (d_{ix}^2 + d_{iy}^2)} \quad (58-3)$$

بنابراین تنش برآیند در پیچ ناشی از لنگر پیچشی برابر خواهد بود با،

$$f_r = \sqrt{f_{ix}^2 + f_{iy}^2} \quad (59-3)$$

تنش برشی مستقیم ناشی از نیروی P در پیچ برابر با $f_{sy} = \frac{P}{\sum A_i}$ است. بنابراین برآیند تنش برشی در پیچ f_r از رابطه‌ی (۳-۶۰) به دست می‌آید.

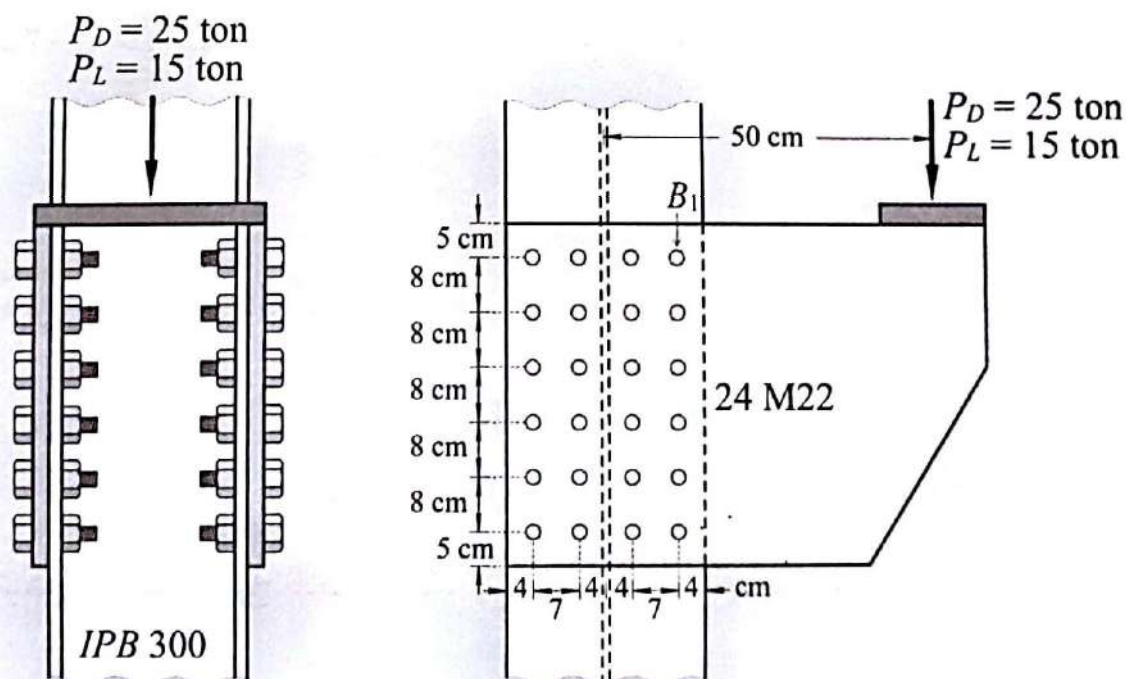
$$f_r = \sqrt{f_{ix}^2 + (f_{iy} + f_{sy})^2} \quad (۳-۶۰)$$

چنانچه نیروی P دارای مؤلفه افقی باشد f_{sx} ، تنش حاصل از مؤلفه‌ی افقی آن باید با تنش f_{ix} جمع شود. شایان ذکر است که در یک اتصال پیچی نظیر شکل ۳-۲۴ معمولاً سطح مقطع پیچ‌ها با یکدیگر برابر و به ندرت از پیچ‌های با قطر متفاوت استفاده می‌شود. در تعیین تنش برشی کل پیچ، باید به پیچ بحرانی که در آن مؤلفه‌های افقی و یا قائم تنش برشی ناشی از نیروی P و لنگر T هم راستا هستند، توجه نمود.

مثال ۳-۵ :

در اتصال شکل ۳-۲۶ نیروهای $P_D = ۲۵\text{ t}$ ، $P_L = ۱۵\text{ t}$ توسط دو ورق لچکی به بال‌های ستون IPE۳۰۰ منتقل می‌شود. حداکثر تنش برشی در پیچ‌های اتصال را با فرض عملکردهای اتکایی

پیچ‌ها از نوع ۱۰.۹ مطابق استاندارد ISO و با قطر ۲۲ میلی‌متر می‌باشند. سوراخ‌ها استاندارد است. سطح برش از دندان‌ها عبور می‌کند. وضعیت سطحی کلاس A است.



شکل ۳-۲۶ - مثال ۳-۵

$$P_u = (1/2 P_D + 1/6 P_L) \div 2 = (1/2 \times 25 + 1/6 \times 15) \div 2 = 27 \text{ t}$$

$$T_u = 27 \times 50 = 1350 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

سطح مقطع اسمی پیچ M22 برابر با ۳/۸ سانتی متر مربع است.

ممان اینرسی قطبی مجموعه‌ی پیچ‌ها با فرض رفتار الاستیک برابر است با،

$$J = \sum A_i (d_{ix}^2 + d_{iy}^2)$$

$$J = 3/8 \left[12 \times 4^2 + 12 \times 11^2 + 8 \times (20^2 + 12^2 + 4^2) \right] = 23271/2 \text{ cm}^4$$

$$P_u = 27 \text{ t} \quad \text{تنش‌های برشی مستقیم ناشی از}$$

$$f_{usy} = \frac{P_u}{n_b A_{nb}} = \frac{27000}{24 \times 3/8} \cong 296 \text{ kg/cm}^2$$

پیچ B_۱ در گوشه بالای سمت راست شکل ۳-۲۶ بیشترین تنش برشی را تجربه می‌کند. توجه

کنید در این پیچ مؤلفه‌ی قائم تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی T هم راستا با مؤلفه‌ی تنش

برشی ناشی از نیروی P بوده و هر دو به سمت پائین هستند.

مؤلفه‌های تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی در پیچ B_۱ با استفاده از روابط (۳-۵۸) به دست می‌آید،

$$f_{uix} = \frac{T_u y}{J} = \frac{1350 \times 10^3 \times 20}{23271/2} = 1160/2 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{uiy} = \frac{T_u x}{J} = \frac{1350 \times 10^3 \times 11}{23271/2} = 638/1 \text{ kg/cm}^2$$

تنش نهایی حداکثر از رابطه‌ی (۳-۶۰) برابر خواهد بود با،

$$f_{ur} = \sqrt{(1160/2)^2 + (638/1 + 296)^2} = 1489/5 \text{ kg/cm}^2$$

چنانچه پیچ‌های اتصال دارای عملکرد اتکایی باشند، در این صورت تنش برشی اسمی پیچ‌ها برابر

$$F_{nv} = 0/45 F_u = 4500 \text{ kg/cm}^2 \text{ خواهد بود.}$$

کنترل برش در پیچ‌ها چنین است،

$$f_{ur} \leq \phi F_{nv} \Rightarrow 1489/5 \text{ kg/cm}^2 < 0/75 \times 4500 = 3375 \text{ kg/cm}^2 \text{ مناسب است.}$$